**Deutscher Bundestag** **Drucksache 18/708**

**18. Wahlperiode** 03.03.2014

# Unterrichtung

**durch die Bundesregierung**

## Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012

Seite

Inhaltsverzeichnis



---

*Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit vom 27. Februar 2014 gemäß § 5 Absatz 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes.*

# Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012

## Wesentliche Ergebnisse im Berichtsjahr

### Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung

- Berechnete Gesamtexposition beträgt 4,0 mSv pro Person und Jahr (wie im Vorjahr)

### Medizinische Strahlenexposition:

- Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen von 1996 bis 2011 um 13 % auf ca. 1,8 mSv (Abschätzung mit Bevölkerungszahl auf Basis des neuen Zensus 2011).
- Anzahl der Computertomographien pro Einwohner und Jahr zwischen 1996 und 2011 mehr als verdoppelt (Zunahme: 130%).

### Berufliche Strahlenexposition:

- Mittlere Jahresdosis exponierter Personen von 0,52 mSv deutlich unter dem Vorjahresniveau (2011: 0,58 mSv).

### Strahlenexposition des Flugpersonals:

- Gegenüber dem Vorjahr verminderte mittlere Jahresdosis von 1,9 mSv (2011: 2,12 mSv).
- Höchste Jahresdosis des fliegenden Personals bei 6,4 mSv (2011: 6,6 mSv).

### Register hochradioaktiver Strahlenquellen:

- Zunahme auf 27200 registrierte Quellen (2011: 23500) von 646 Genehmigungsinhabern (2011: 630)

### Schachtanlage Asse:

- Strahlenexposition der Bevölkerung im Bereich des Vorjahres 2011 (ermittelt nach der AVV zu § 47 StrlSchV vom 28.08.2012).

### Kernkraftwerksunfälle:

- Jährliche Abnahme der Cäsium-137-Inventare von Boden und Nahrungsmitteln aus dem Unfall von ***Tschernobyl*** um 2–3 % mit Ausnahme der Kontamination von Wild, die stellenweise immer noch sehr hoch ist.
- Im Berichtsjahr keine Radionuklidaktivitäten aus dem Fukushima-Unfall messbar.

### Nichtionisierende Strahlung

- "Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen" (NiSG) in Kraft getreten.
- Forschungsagenda zum Thema „Leukämie im Kindesalter“ in einem Expertengespräch erörtert

Alle im Text verwendeten Abkürzungen und Fachausdrücke sind in Anhang C erklärt. Grundsätzliche Zusammenhänge von Strahlendosis und Strahlenwirkung sowie die Definition nichtionisierender Strahlung und ihrer Wirkungsmechanismen finden sich in Anhang A und B.

## Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Dazu werden die erhobenen Daten im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§ 5 Absatz 1 und § 11 Absatz 7 StrVG).

Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

## Zusammenfassung für die ionisierende Strahlung

Der Bericht behandelt im Bereich der ionisierenden Strahlung folgende Themen:

– die natürliche Strahlenexposition infolge der Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten, die natürliche Strahlenexposition durch Nahrung sowie durch direkte kosmische und terrestrische Strahlung.
– die zivilisatorische Strahlenexposition durch medizinische Diagnostik (Röntgen und Nuklearmedizin), durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt, die Auswirkungen von Unfällen in Kernkraftwerken und von Kernwaffenversuchen sowie die Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen, Zwischen- und Endlager.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die mittlere effektive Jahresdosis in diesen Bereichen.

Die mittlere effektive Dosis für eine Person der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition liegt zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Rechnerisch ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf insgesamt etwa 1,9 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering. Die berechnete Gesamtexposition beträgt dadurch 4,0 mSv pro Jahr und Person.

Zusätzlich wird über die berufliche Strahlenexposition, die Strahlenexposition durch Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus der ehemaligen SDAG Wismut, über besondere Vorkommnisse beim Umgang mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen, über hochradioaktive Strahlenquellen und die Freigabe schwach radioaktiver Stoffe berichtet. Die Strahlenexposition in diesen Bereichen betrifft einen eng umrissenen Personenkreis und wird deshalb nicht in die Aufstellung der über die Gesamtbevölkerung gemittelten Jahresdosis (Abbildung 1) einbezogen. Die Charakterisierung der beruflichen Strahlenexposition (siehe Abbildung 2) berücksichtigt sowohl natürliche als auch zivilisatorische Strahlenquellen.

## 1. Zusammenfassung für die natürliche Strahlenexposition durch Radon, Nahrung, kosmische und terrestrische Strahlung

Die natürliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente (Höhen- und Bodenstrahlung) sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlicher radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen.

**Kosmische und terrestrische Strahlung**

Die kosmische Strahlung und die überall in der Umwelt vorkommenden natürlichen Radionuklide sind die Ursache der natürlichen Strahlenexposition. Zur jährlichen effektiven Dosis aus der äußeren Strahlenexposition tragen die kosmische Strahlung mit 0,3 mSv und die in den Böden, Gesteinen und in den Baumaterialien vorkommenden Radionuklide mit 0,4 mSv bei (siehe Abschnitt I.2.1).

**Nahrung**

Aus der Inkorporation (Aufnahme) natürlicher Radionuklide mit der Nahrung ergibt sich bei durchschnittlichen Ernährungsbedingungen eine jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv (Abschnitt I.2.3).

**Radon**

Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlicher radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere das radioaktive Edelgas Radon in Gebäuden führt zur Erhöhung der Exposition. Die Inhalation (Einatmung) von Radon und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Die jährliche effektive Dosis, die durch die Inhalation dieser Radionuklide entsteht, beträgt etwa 1,1 mSv, davon 0,9 mSv durch Aufenthalt in Gebäuden (Abschnitt I.2.4).

**Gesamtbewertung der natürlichen Strahlenexposition**

Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition bei durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland 2,1 mSv. Sie weist aber beträchtliche Unterschiede auf, die vor allem durch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes, aber auch durch die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und die Höhe des Aufenthaltsortes verursacht werden.

Insbesondere die Strahlenexposition durch Rn-222 und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte in der Atemluft variiert bundesweit beträchtlich. Ursachen dafür sind die geologischen Bedingungen, aber auch Art und Zustand der Gebäude. Durch epidemiologische Untersuchungen ist nachgewiesen, dass eine erhöhte Strahlenexpositionen

Abbildung 1

**Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2012, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands und aufgeschlüsselt nach Strahlenursprung**

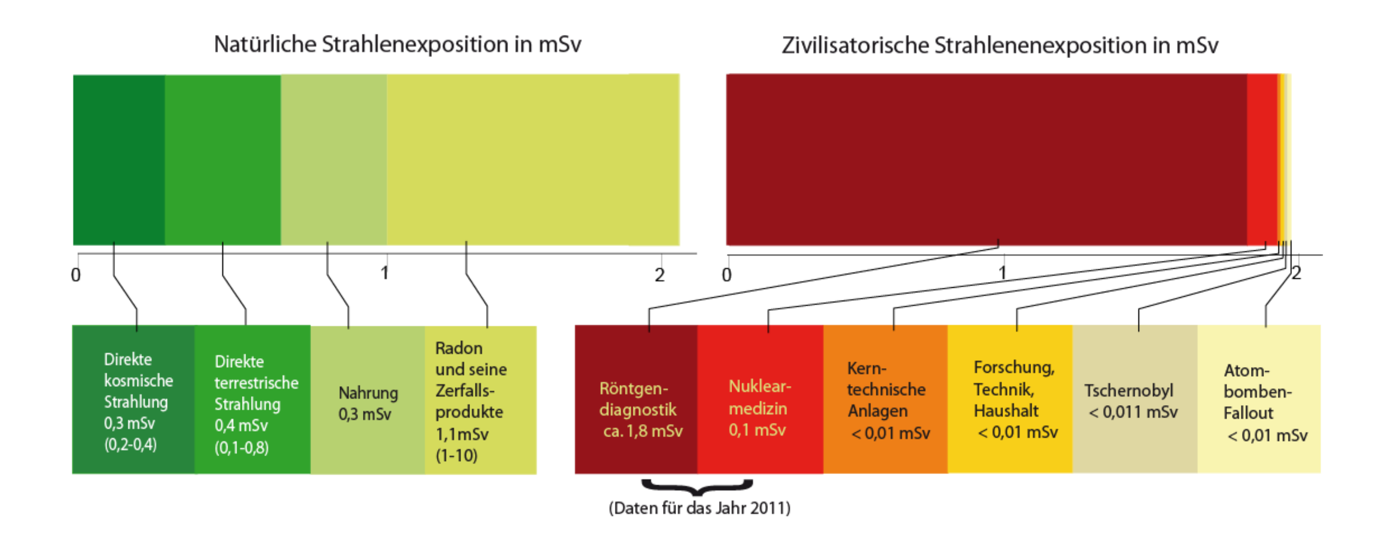
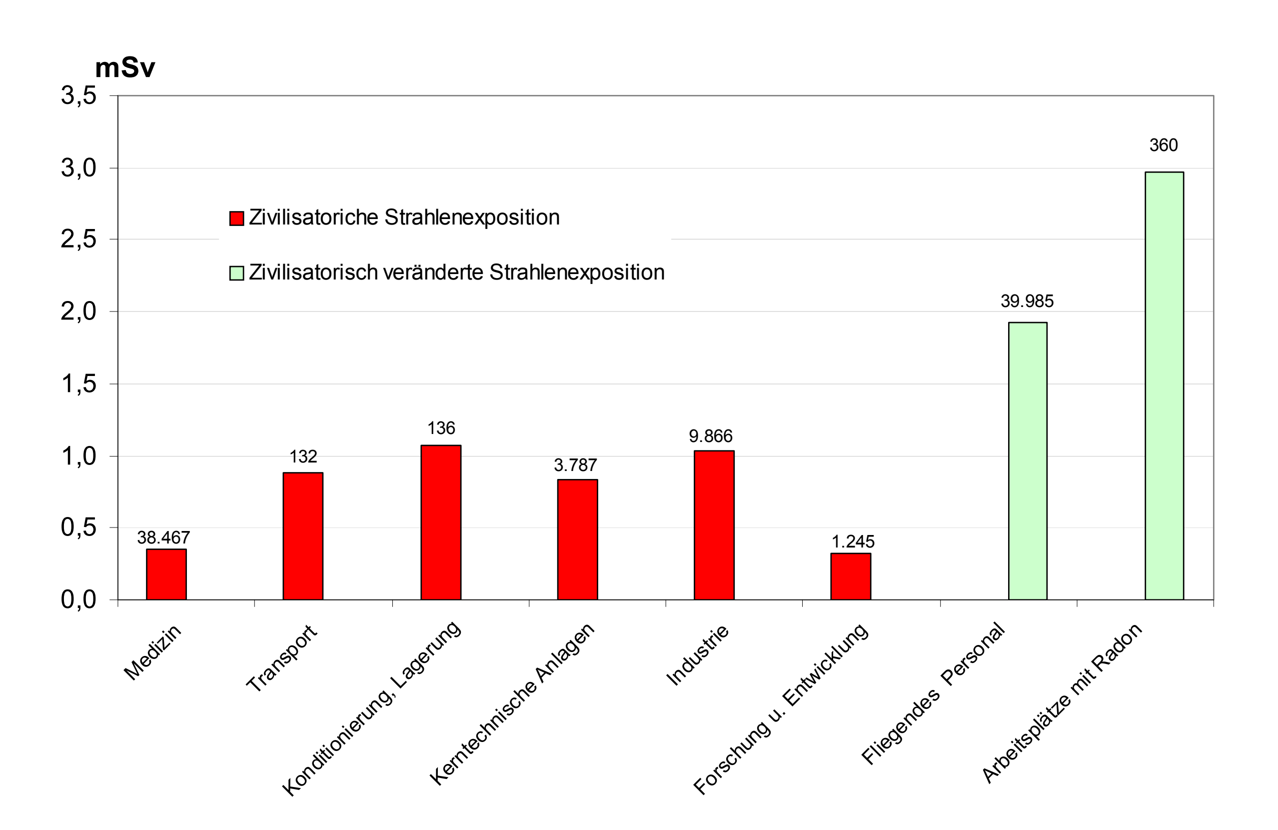



Abbildung 2

**Mittlere Jahrespersonendosis und Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen mit Jahresdosen > 0 mSv in Deutschland im Jahr 2012 in ausgewählten Tätigkeitsbereichen**



durch Radon eine Ursache für Lungenkrebs sein kann. Deshalb sollten die Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen – soweit wie möglich – reduziert werden (Abschnitt I.3).

## 2. Zusammenfassung für die zivilisatorische Strahlenexposition durch Medizin, kerntechnische Anlagen, Bergbau Forschung, Technik, Haushalt und Fallout

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag im Berichtsjahr bei ca. 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, aus der Sanierung von Bergbauanlagen durch die Wismut GmbH, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts.

**Medizin**

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Dieser Beitrag ist in den letzten Jahren angestiegen. Die aktuelle Schätzung für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner bezieht sich auf das Jahr 2011 und beträgt ca. 1,8 mSv für die Röntgendiagnostik und 0,1 mSv für die Nuklearmedizin, wenn die Bevölkerungszahl auf Basis des neuen Zensus 2011 zu Grunde gelegt wird (siehe Abschnitt IV).

**Kerntechnische Anlagen und Uranbergbau**

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen sowie durch die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus und deren Sanierung durch die Wismut GmbH in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2012 deutlich unter 1 % der gesamten zivilisatorischen Strahlenexposition. Sie ist also kleiner als 0,01 mSv (Abbildung 1). Dieser Wert ist eine obere Abschätzung unter sehr konservativen Annahmen. Die tatsächliche Strahlenexposition liegt deshalb in der Regel weit unterhalb dieses Wertes. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte (Abschnitt II.1).

**Abschaltung von Kernkraftwerken**

Mit Inkrafttreten des novellierten Atomgesetzes zum 06.8.2011 ist die weitere Berechtigung zum Leistungsbetrieb für die acht Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel erloschen.

Im novellierten Atomgesetz wurde festgelegt, dass die letzten Kernkraftwerke in Deutschland Ende 2022 außer Betrieb gehen sollen. Weitergehende Informationen zur Kernenergienutzung in Deutschland und zu den verbleibenden Elektrizitätsmengen können dem „Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2012“ des Bundesamtes für Strahlenschutz entnommen werden.[1]

**Forschung, Technik und Haushalt**

Die Beiträge durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Forschung, Technik und Haushalt lagen unterhalb 0,01 mSv. „Haushalt“ beinhaltet Aspekte des Verbraucherschutzes, „Technik“ umfasst Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen (Abschnitt II.5).

**Unfälle in Kernkraftwerken**

Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 verursachte auch im Jahr 2012 noch einen, wenn auch geringen Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Reaktorkatastrophe in Fukushima hatte 2012 dagegen keine messbaren Auswirkungen auf die Strahlenexposition in Deutschland (siehe Abschnitt II.7.2).

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,011 mSv im Jahre 2012 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln (z.B. Pilze und Wildbret) aus einigen Waldgebieten immer noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Strahlenbelastungen auf, die bis zu einem Faktor 10 über dem o.g. Mittelwert liegen (siehe Abschnitt II.7.1).

**Kernwaffen-Fallout**

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1981 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2012 weniger als 0,01 mSv (siehe Abschnitt II.7.3).

### Zusammenfassung der beruflichen Strahlenexposition

Die berufliche Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr geringfügig verändert (siehe Abschnitt III). Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Über den Säulen ist zusätzlich die Anzahl der betroffenen Personen vermerkt.

Die Zahl der Personen, die mit Dosimetern beruflich strahlenschutzüberwacht werden, betrug im Jahr 2012 ca. 352 000 und hat sich damit gegenüber dem Vorjahr um 6 700 Personen erhöht. Von den Überwachten erhielten ca. 53 000 Personen eine messbare Dosis. Die Kollektivdosis ging von 39 Personen-Sievert im Vorjahr auf 28 Personen-Sievert zurück. Der Dosisrückgang wurde in fast allen Arbeitsbereichen beobachtet. Die mittlere Jahrespersonendosis der exponierten Personen betrug 0,52 mSv und liegt damit 10% unter dem Wert des Vorjahres (0,58 mSv).

---

[1] Bredberg I, Hutter J, Kühn K, Philippczyk F, Dose J: Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2012. BfS-SK-Bericht BfS-SK-21/13, urn:nbn:de0221-2013070510976, Salzgitter, Juli 2013

### Zivilisatorisch veränderte, natürliche berufliche Strahlenexposition

Im Jahr 2012 wurden ca. 40300 Personen des fliegenden Personals überwacht. Dies sind ca. 600 Personen mehr als im Vorjahr. Davon erhielten 38923 Personen eine von Null verschiedene Dosis. Das Flugpersonal wird nicht mit Dosimetern überwacht. Die Luftfahrtgesellschaften ermitteln stattdessen die Dosis für das fliegende Personal mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen. Die mittlere Jahresdosis des fliegenden Personals sank gegenüber dem Vorjahr von 2,1 mSv auf 1,9 mSv, hauptsächlich verursacht durch die zurzeit abnehmende Höhenstrahlung, die von der variierenden Sonnenaktivität beeinflusst wird (siehe Abschnitt III.2.1).

Im Jahr 2012 wurden 380 Personen an Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition überwacht (Schauhöhlen, Wassergewinnung, Beschäftigte der Wismut GmbH). Die mittlere Jahresdosis dieser Personen betrug 3,0 mSv (siehe Abschnitt III.2.2).

## Zusammenfassung für die nichtionisierende Strahlung

Nichtionisierende Strahlung ist der Oberbegriff für den Teil des elektromagnetischen Spektrums, dessen Energie nicht ausreicht, um andere Atome zu ionisieren. Dazu gehören die statischen Magnetfelder (z.B. Erdmagnetfeld), niederfrequente elektrische und magnetische Felder (z. B. Stromversorgung) und hochfrequente elektromagnetische Felder (z.B. Mobilfunk) sowie die optische Strahlung (Ultraviolette Strahlung, sichtbares Licht, Infrarot).

### Statische Felder

Statische Magnetfelder werden z.B. in der medizinischen Diagnostik eingesetzt. Für den Strahlenschutz relevant ist hier die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), da das betreuende medizinische Personal und die Patienten unter Umständen starken statischen Magnetfeldern ausgesetzt werden (siehe Abschnitt V.1.1).

### Niederfrequente Felder

Gegenstand wissenschaftlicher Forschung im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung mit niederfrequenten Feldern waren auch 2012 die Fragen

- Sind die in den durch die Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP, www.icnirp.de) aktualisierten Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern neu eingeführten Basiswerte konservativ?
- Wie können Expositionssituationen auf Basis der neuen Richtlinien dosimetrisch untersucht und bewertet werden?

Bei beruflicher Exposition mit starken niederfrequenten Magnetfeldern deuten epidemiologische Studien auf ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Erkrankungen (Alzheimer-Demenz, amyotrophe Lateralsklerose) hin. 2012 wurde deshalb weiter untersucht, ob diese neurodegenerativen Erkrankungen tatsächlich ursächlich mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern zusammenhängen und welche Wirkmechanismen zu Grunde liegen könnten (siehe Abschnitt V.1).

### Leukämie im Kindesalter

Epidemiologischen Studien zufolge erhöhen niederfrequente Magnetfelder das Risiko an Leukämie im Kindesalter zu erkranken. Da bei der Entstehung dieser Erkrankung von einem multifaktoriellen Geschehen ausgegangen wird, wurden auf Basis einer breit angelegten, international abgestimmten Forschungsagenda vom BfS Forschungsarbeiten mit dem Ziel initiiert, den möglichen Einfluss schwacher niederfrequenter Magnetfelder und ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich abzuklären (siehe Abschnitt V.1.1).

### Hochfrequente Felder

In Bezug auf gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung hat das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) Hinweise auf mögliche Effekte unterhalb der Grenzwerte nicht bestätigt. Weiterer Forschungsbedarf besteht noch hinsichtlich möglicher Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten über 10 Jahre. Auch der Frage, ob ein früher Beginn der Handynutzung mit Risiken verbunden ist, wird weiter nachgegangen. Zusätzlich wurden 2012 wissenschaftliche Studien zu Wissensmanagement und Risikokommunikation speziell für den Bereich Mobilfunk gefördert, anteilig mitfinanziert durch die Mobilfunkbetreiber im Rahmen ihrer Selbstverpflichtung. Des weiteren wurden Forschungsvorhaben zur Risikobewertung von Feldern des TETRA-Standards durchgeführt, finanziert durch die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) (siehe Abschnitt V.1.1).

### Optische Strahlung

Im Bereich "Optische Strahlung" war auch in 2012 die Hautkrebsprävention ein Schwerpunktthema. Am 1. Januar 2012 trat die auf dem "Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen" (NiSG) beruhende "Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung" (UVSV) für Solarien in Kraft. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben liegt bei den Bundesländern, für die das BfS in 2012 mit Unterstützung des BMU Informationsveranstaltungen bezüglich der durchzuführenden Kontrollen anbot. Zur Aufklärung und mit dem Ziel einer nachhaltigen Hautkrebsprävention informierte das BfS die Öffentlichkeit über die herrschende UV-Bestrahlungsintensität (Messung und Veröffentlichung des UV-Index) und führte 2012 ergänzt durch überregionale Lehrerfortbildungen seine Informationskampagne "Sonne - Aber sicher!" weiter. Des Weiteren bemühte sich das BfS zusammen mit dem 2011 durch das BfS ins Leben gerufene UV-Schutz-Bündnis auch 2012 um eine Harmonisierung der Empfehlungen verschiedener fachlicher Akteure in Deutschland zum Thema "UV-Exposition im Zusammenhang mit Vitamin-D-Bildung" (siehe Abschnitt V.2).

# I. Natürliche Strahlenexposition

## 1. Arten natürlicher Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es wird zwischen der äußeren und der inneren Strahlenexposition des Menschen unterschieden.

**Äußere Strahlenexposition**

Zur äußeren Strahlenexposition trägt neben der aus dem Weltall stammenden kosmischen Strahlung die Gammastrahlung bei, die von den in Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht und als terrestrische Strahlung bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um Radionuklide aus der Uran-238-, der Uran-235- und der Thorium-232-Zerfallsreihe sowie das Einzelnuklid Kalium-40. Diese natürlichen radioaktiven Bestandteile des Bodens gelangen über die Nahrungskette und das Wasser letztlich auch in den menschlichen Organismus und tragen somit zur inneren Strahlenexposition bei.

**Innere Strahlenexposition**

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion von Nahrungsmitteln und Inhalation luftgetragener natürlicher Radioaktivität, resultiert eine innere Strahlenexposition. Die Inhalation von Radon-222, das ein gasförmiges Zerfallsprodukt aus der Uran-238-Zerfallsreihe ist, liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Verantwortlich dafür sind seine kurzlebigen Zerfallsprodukte. Der Beitrag, der durch die Inhalation von Radon-220 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte zustande kommt, ist dagegen unter den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen gering.

## 2. Beiträge zur Strahlenexposition

### 2.1 Kosmische und terrestrische Strahlung

Die Strahlung, die die Erdatmosphäre aus dem Kosmos trifft (hauptsächlich Protonen), löst sekundäre kosmische Teilchen- und Gammastrahlung aus. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,24 mSv und nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Neutronenkomponente der sekundären kosmischen Strahlung verursacht in Höhe des Meeresspiegels nur eine jährliche effektive Dosis von etwa 0,03 mSv. Die Dosisrate der Neutronenkomponente steigt mit zunehmender Höhe jedoch stark an und beträgt in üblichen Reiseflughöhen das Tausendfache. Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis aus der kosmischen Strahlung an der Erdoberfläche etwa 0,3 mSv.

Die durch die terrestrischen Radionuklide verursachte äußere Strahlenexposition ist auf den Gehalt der Böden, der Gesteine und vor allem der Baumaterialien an den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumzerfallsreihe sowie an Kalium-40 zurückzuführen. Im Freien auf nicht versiegelten Flächen ist sie vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu ca. 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden dort für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung 57 nSv/h bestimmt (Photonen-Äquivalentdosisleistung, Nanosievert pro Stunde, siehe Anhang C). Höhere Werte, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

Abbildung I.2-1 zeigt als Maß für die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien die Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe in der Bundesrepublik Deutschland. Abgesehen von den unterschiedlichen Gehalten an terrestrischen Radionukliden spiegelt sie auch die mit der Höhe zunehmende kosmische Strahlung wider. Die terrestrische Strahlung trägt im Mittel einen Anteil von 40 nSv/h, die kosmische Strahlung 32 nSv/h zur effektiven Dosis bei. Bei einem mittleren Aufenthalt von 5 Stunden pro Tag im Freien ergibt die Summe dieser beiden Werte pro Jahr im Mittel 0,13 mSv.

In urbanen Gebieten wird die terrestrische Strahlung im Freien überwiegend durch den Gehalt an Radionukliden in den Materialien verursacht, die zum Straßen- und Häuserbau verwendet worden sind und nur zu einem geringen Teil durch den Radionuklidgehalt in Böden oder Gesteinen.

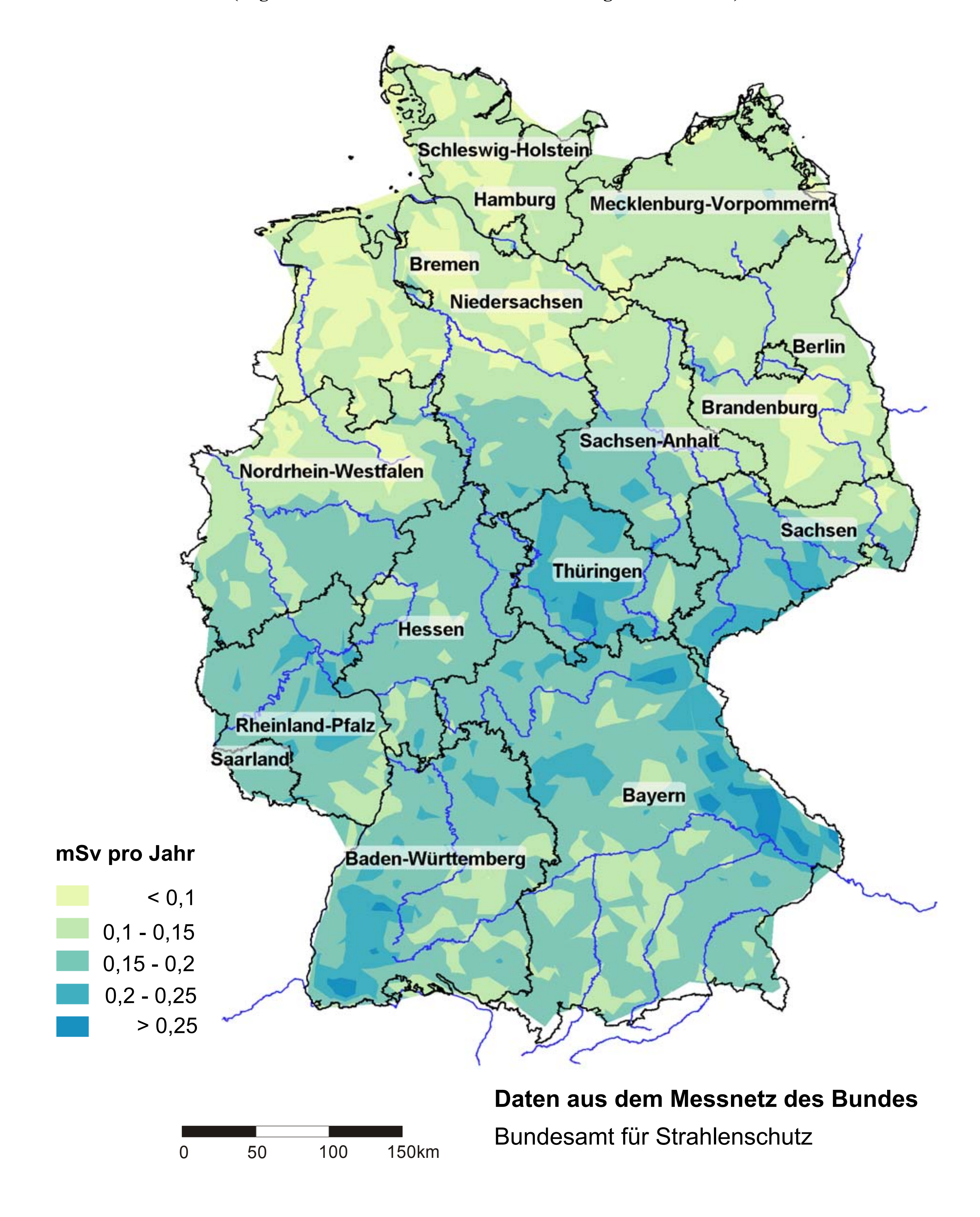
In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition durch den Gehalt an Radionukliden in den verwendeten Baustoffen bestimmt (siehe Kapitel I.2.2). Bei einem Wertebereich von 20 bis 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h. Diese Ortsdosis trägt 56 nSv/h zur effektiven Dosis bei (Körperdosis; der Zusammenhang der verschiedenen Dosisgrößen ist in Anhang A erläutert). Zusammen mit der kosmischen Komponente von 26 nSv/h ergibt dies bei einem mittleren Aufenthalt von 19 Stunden pro Tag in Gebäuden pro Jahr im Mittel 0,57 mSv. Addiert man zu diesem Wert die Strahlenexposition im Freien (0,13 mSv), erhält man als Mittelwert 0,7 mSv für die gesamte äußere Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen. Dazu tragen die Radionuklide im Boden und in Baumaterialien 0,4 mSv bis 0,5 mSv und die kosmische Strahlung 0,3 mSv bei (Abbildung 1).

### 2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten und im Bergbau

In den Jahren 2007 bis 2009 führte das BfS ein Messprogramm zur Bestimmung der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide und der Radonabgabe an aktuellen und marktüblichen Baustoffen durch. Durch die Beteiligung des Bundesverbandes Baustoffe - Steine und Erden e.V. konnten eine hohe Marktabdeckung der einzelnen Baustoffgruppen sowie Informationen über Rezeptur und Herkunft der Rohstoffe erlangt werden. Wegen der Vielzahl möglicher Rezepturen und des begrenzten Untersuchungsprogramms können die Werte für Normalbeton nicht als repräsentativ angesehen werden. Es wurden ca. 120 markttypische Baumaterialproben aus aktueller Produktion von 11 Branchen im BfS untersucht. Wegen ihrer

Abbildung I.2-1

**Externe Strahlenexposition im Freien im Jahr 2012 in Deutschland beim Aufenthalt von täglich 5 Stunden (abgeleitet aus der Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe)**



radiologischen Bedeutung beschränkte sich das Programm ausschließlich auf Baustoffe für Innenräume. Die Ergebnisse der massenspezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen sind in Tabelle I.2-1 zusammengefasst.

Für die Mehrzahl der Baustoffgruppen wird eine Gesamtdosis deutlich unterhalb von 1 mSv pro Jahr abgeschätzt. Dieser Wert kann bei den Produktgruppen Ziegel, Leichtbeton und Beton, die allerdings Massenprodukte darstellen, von wenigen Produkten überschritten werden. Selbstverständlich sind bei Wechsel der Rohstoffe oder Zusatz von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten Abweichungen der durchschnittlichlichen Exposition von 0,5 mSv/a nach oben und unten möglich.

Örtlich können auch Hinterlassenschaften des Bergbaus und der Industrie, die erhöhte Gehalte an Radionukliden der Uran-Radium-Zerfallreihe - in einigen Fällen auch der Thorium-Zerfallreihe - aufweisen, zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide beitragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Hinterlassenschaften des ehemaligen Uranbergbaus und der -verarbeitung in Sachsen und Thüringen, bei denen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durchgeführt werden. Über die dabei unvermeidlichen Ableitungen natürlicher Radionuklide, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden erfolgen, und die dadurch verursachten Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt II.4.

### 2.3 Nahrungsmittel und Trinkwasser

Die innere Strahlenexposition durch Ingestion von Nahrungsmitteln wird überwiegend durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, der zu einem bestimmten Anteil aus Kalium-40 besteht. Er ist auf Grund spezieller biologischer Regelmechanismen konstant und variiert nicht mit der Nahrungsaufnahme. Der durchschnittliche Kalium-40-Gehalt im Körper eines Erwachsenen beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis in Höhe von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide hängt die innere Strahlenexposition von der Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung ab und wird entsprechend ermittelt. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2008[2] abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt. Die Ergebnisse des BfS-Trinkwasser-Messprogrammes finden sich im Bericht für das Jahr 2009 und unter www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/trinkwasser.html.

### 2.4 Radon

Für Deutschland liegt die Radonkonzentration in Wohnräumen im Mittel bei ca. 50 $Bq/m^3$. Die gemessenen Werte aus über 60000 Häusern umfassen einen Bereich von weniger als 30 $Bq/m^3$ bis zu mehreren Tausend $Bq/m^3$.

Häuser mit Radonkonzentrationen oberhalb des vom BMU und BfS in Übereinstimmung mit der WHO empfohlenen Zielwertes von 100 $Bq/m^3$ sind im gesamten Bundesgebiet zu finden. Auf Basis der vorliegenden Messdaten lässt sich schließen, dass etwa 10 - 12% der insgesamt 13 Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser davon betroffen sind (Tabelle I.2-2). Radoninnenraumkon-

[2] United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I, www.unscear.org/unscear/en/publications.html

Tabelle I.2-1

**Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen in Baustoffgruppen**

| Produkt/ Verband | Anzahl der Proben | Spezifische Aktivität [Bq/kg] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K-40 | | | Th-228 | | | Ra-226 | | |
| | | min. | max. | med. | min. | max. | med. | min. | max. | med. |
| Gipsprodukte | 5 | < 20 | 120 | < 20 | 1,7 | 5,8 | 1,9 | 3,8 | 13 | 10 |
| Kalksandsteine | 3 | 35 | 180 | 130 | 2,8 | 8,9 | 7,2 | 4,1 | 10 | 10 |
| Mineralwolle | 7 | 49 | 350 | 150 | 4,7 | 64 | 15 | 16 | 80 | 22 |
| Ziegel | 27 | 470 | 1200 | 670 | 37 | 98 | 53 | 38 | 63 | 48 |
| Zement/Mörtel | 10 | 135 | 380 | 225 | 11 | 21 | 15 | 11 | 35 | 22 |
| Fliesen/Platten | 5 | 295 | 620 | 335 | 39 | 97 | 59 | 67 | 110 | 87 |
| Ton | 15 | 65 | 1700 | 560 | 20 | 135 | 47 | 15 | 115 | 40 |
| Porenbeton | 10 | 97 | 350 | 170 | 4,8 | 19 | 11 | 8 | 26 | 19 |
| Mörtel | 7 | 120 | 310 | 250 | 6 | 31 | 13 | 11 | 53 | 20 |
| Putze | 19 | 12 | 220 | 46 | 0,9 | 31 | 4,2 | 2 | 22 | 6,3 |
| Estriche | 5 | 210 | 295 | 255 | 11 | 34 | 13 | 11 | 26 | 13 |
| Leichtbeton | 7 | 710 | 950 | 850 | 27 | 98 | 70 | 22 | 83 | 49 |
| *gesamt* | *120* | *12* | *1700* | | *1* | *135* | | *2* | *115* | |

zentrationen von über 400 Bq/m$^3$ werden in etwa einem Prozent des Hausbestandes erwartet.

Tabelle I.2-2

**Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen**

| Radonkonzentration in Bq/m$^3$ | Relative Häufigkeit in % | Anzahl |
|---|---|---|
| > 100 | 10 - 12 | 1300000 - 1600000 |
| > 200 | 1,6 - 3,1 | 220000 - 420000 |
| > 400 | 0,3 - 0,9 | 40000 - 140000 |
| > 1000 | 0,03 - 0,2 | 4000 - 25000 |

Die relative Häufigkeit erhöhter Radoninnenraumkonzentrationen ist allerdings regional unterschiedlich. Diese Unterschiede werden vor allem durch das Radonvorkommen innerhalb des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonvorkommen ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die Kartendarstellung (Abbildung I.2-2) zeigt den abschließenden Stand der bundesweiten, an 2347 geologisch repräsentativen Messorten durchgeführten Untersuchung der Bodenluft.

Die im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt darüber hinaus entscheidend von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Der Anteil des in mineralischen Baustoffen entstehenden und aus ihnen austretenden Radons an der Gesamtinnenraumkonzentration ist in der Regel gering. Vom Bundesamt für Strahlenschutz in den letzten Jahren durchgeführte Untersuchungen an in Deutschland aktuell für den Innenraum typischen, handelsüblichen Baumaterialien haben gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen in der Regel unter 20 Bq/m$^3$ liegt. Dies führt zu einer Dosis von 0,4 mSv pro Jahr. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass – wie national und international in der Vergangenheit beobachtet – in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden, die zu einer höheren Radoninnenraumkonzentration führen.

## 3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition

### 3.1 Äußere und innere Strahlenexposition

Wie im Abschnitt I.2.1 dargestellt, beträgt der Mittelwert für die äußere Strahlenexposition mit Beiträgen für den Aufenthalt im Freien und in Häusern 0,7 mSv. Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. In der Summe ergibt sich in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. Abbildung 1 zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung. In Anbetracht der Variationsbreite der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Rn-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis im Mittel in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR- Report 2008[2] wird für die durchschnittlichen Verhältnisse weltweit ein Wert von 2,4 mSv angegeben.

Die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien und vor allem das Rn-222, das aus dem Baugrund in die Gebäude gelangt, sind Ursachen der bereits genannten Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition. Weitere Informationen dazu und auch zu den Möglichkeiten, die dadurch verursachten Strahlenexpositionen zu begrenzen, werden in den folgenden Abschnitten I.3.2 und I.3.3 gegeben.

### 3.2 Baumaterialien

Die Ergebnisse des aktuellen Untersuchungsprogramms des BfS zur Radioaktivität von Baustoffen für Innenräume in Deutschland haben gezeigt, dass deren Beitrag zur externen Strahlenexposition in der Regel deutlich kleiner als der von der EU dafür vorgesehene Bewertungsmaßstab von 1 mSv pro Jahr ist. Wie aus früheren Messungen bekannt, zeigen Gips, Kalksandstein, Porenbeton, Mörtel, Putz und Estriche ausnahmslos niedrige spezifische Aktivitäten für die relevanten Radionuklide. Etwas höhere Werte sind erwartungsgemäß bei Baustoffen auf Basis von Ton (Ziegel) und bei Leichtbeton infolge des Einsatzes von Bims beobachtet worden. Für diese sind in Einzelfällen auch Strahlenexpositionen von über 1 mSv/a nicht ausgeschlossen.

In Übereinstimmung mit den Vorgaben der gegenwärtig in Überarbeitung befindlichen Grundnormen der EU und den „Basic Safety Standards (BSS)“ der IAEO sollten deshalb auch in Deutschland Regelungen getroffen werden, um künftig nicht nur die Strahlenexposition durch Zusätze bestimmter industrieller Rückstände auf Werte unterhalb 1 mSv/a, sondern auch den Beitrag bereits natürlicherweise in den Ausgangsstoffen vorhandener Radioaktivität zu begrenzen.

### 3.3 Radon

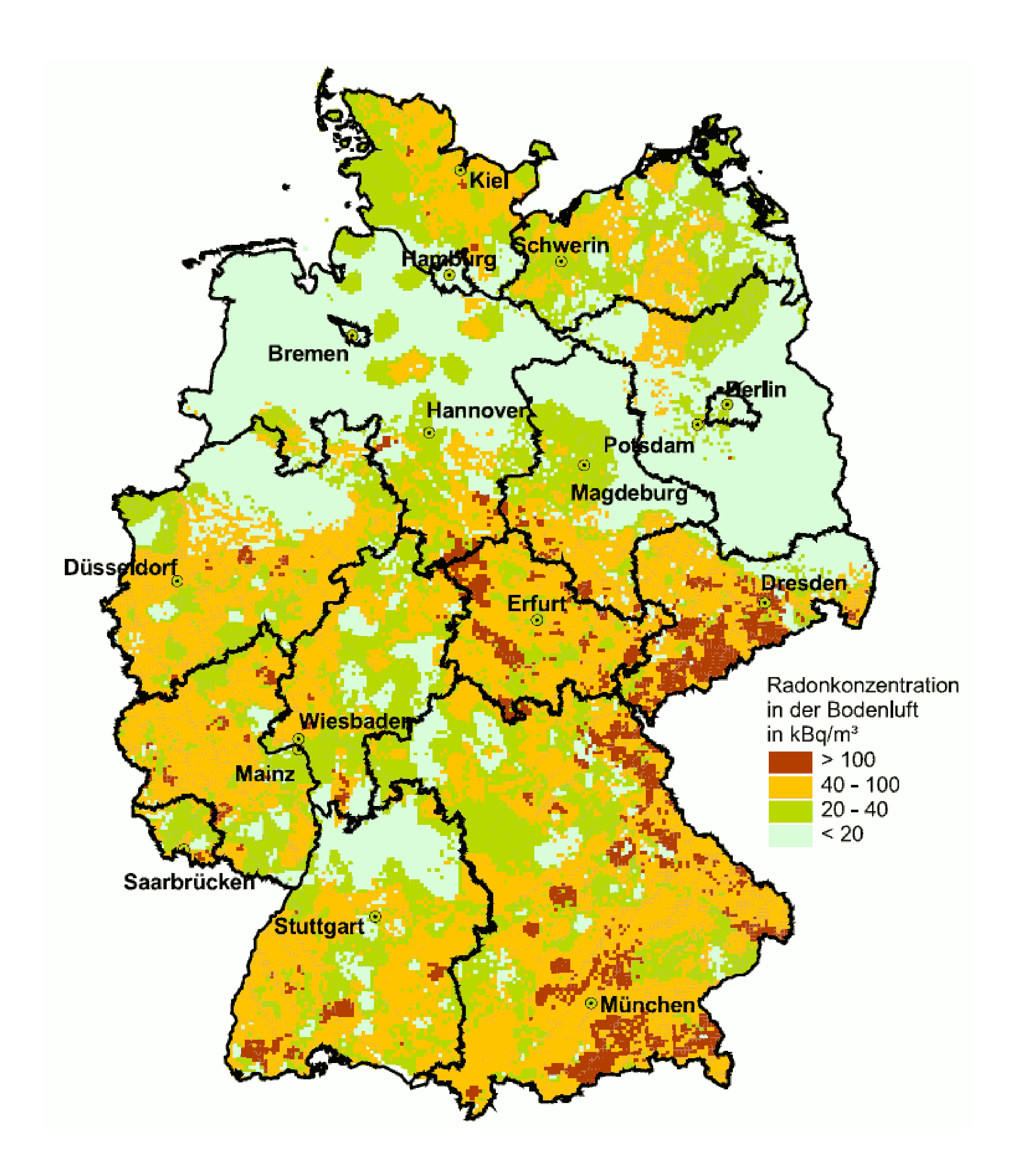
**Epidemiologische Erkenntnisse**

In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Wer langjährig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt ist, unterliegt einem erhöhten Lungenkrebsrisiko. Die Exposition durch Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache und damit der wichtigste umweltbedingte Risikofaktor für diese Krankheit. Etwa 40000 Personen in Deutschland sterben jährlich an Lungenkrebs, davon werden etwa 1900 Todesfälle dem Radon zugeschrieben.

Die gemeinsame Auswertung der in Deutschland durchgeführten Studien mit weiteren aus Europa und Nordame-

Abbildung I.2-2

**Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe für die Bundesrepublik Deutschland**




**Daten aus der Bundeseinheitlichen Datei Radon in Gebäuden**

Bundesamt für Strahlenschutz

rika zeigt einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro zusätzlichen 100 Bq/m$^3$ Radonkonzentration und verdoppelt sich damit bei einer Innenraumkonzentration von etwa 1 000 Bq/m$^3$. Dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar. Ein Schwellenwert, unter dem die langjährige Radonexposition keine oder gar eine gesundheitsfördernde Wirkung zeigte, konnte nicht beobachtet werden.

Im Jahr 2010 veröffentlichte die WHO eine Zusammenstellung wichtiger Innenraumschadstoffe als Teil der neuen Leitlinien zur Raumluftqualität. In dieser Zusammenfassung wird Radon als Innenraumschadstoff aufgeführt und das zusätzliche Lebenszeitrisiko, deshalb an Lungenkrebs zu erkranken, aus den epidemiologischen Studien abgeleitet. Es beträgt im Alter von 75 Jahren $0{,}6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m$^3$, d.h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. $15 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m$^3$ für Raucher. Das Risiko für Ex-Raucher liegt dazwischen und verringert sich mit zunehmender Abstinenzdauer. Die Radonkonzentration, die mit einem zusätzlichen Lebenszeitrisiko von 1 pro 100 einhergeht, beträgt dementsprechend 67 Bq/m$^3$ für Raucher und 1670 Bq/m$^3$für lebenslange Nichtraucher.

**Maßnahmen (Radonregelung)**

BMU und BfS empfehlen, Radonkonzentrationen von über 100 Bq/m$^3$ Luft in Aufenthaltsräumen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Art und Effizienz der Maßnahmen sollten bei Neubauten der Standortsituation gerecht werden und sich bei der Sanierung bestehender Gebäude an der Höhe der gemessenen Radonkonzentration orientieren. Ob ein Haus eine erhöhte Radonraumluftkonzentration aufweist oder eine Sanierung erfolgreich war, kann nur durch eine Messung festgestellt werden.

Bei der Planung und Ausführung von energetischen Sanierungen ist darauf zu achten, dass die Verringerung der Luftwechselrate zu einer Erhöhung der Radonkonzentration im Innenraum führen kann.

In Deutschland existiert bislang keine gesetzliche Regelung, die die Radonkonzentration in Häusern, öffentlichen Gebäuden und an allgemeinen Arbeitsplätzen beschränkt. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt in ihrem Radon-Handbuch, das im Herbst 2009 veröffentlicht wurde, den auch von BMU und BfS vorgeschlagenen Referenzwert von 100 Bq/m$^3$ einzuhalten. Selbst unter schwierigen Randbedingungen sollte der Wert nicht über 300 Bq/m$^3$ liegen. Bei Neubauten sind Maßnahmen einzusetzen, die zu einer Konzentration deutlich unter 100 Bq/m$^3$ führen sollten.

Im Jahr 2010 wurde im Auftrag des BfS für Deutschland erstmalig eine Kosten-Nutzen-Analyse mit unterschiedlichen Regelungsszenarien durchgeführt.

Aus der Perspektive der durch etablierte Methoden ermittelten Kosteneffektivität ist festzustellen, dass für Deutschland allgemein die Sanierung bestehender Gebäude mit einem verpflichtenden Eingreifwert von 100 Bq/m$^3$ mit anschließender Erfolgskontrolle in Bezug auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis am günstigsten ist. Für Radon-Hochrisiko-Gebiete ist das radonsichere Bauen hingegen vorzuziehen.

Auf Grund der epidemiologischen Erkenntnisse hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) im Herbst 2009 ihre Risikobewertung angepasst und den von ihr empfohlenen maximalen Referenzwert von 600 Bq/m$^3$ auf 300 Bq/m$^3$ halbiert. Des Weiteren hat die ICRP angekündigt, überarbeitete Dosiskonversionsfaktoren zu veröffentlichen. Es wird damit gerechnet, dass in Folge der neuen Faktoren einer gegebenen Konzentration eine doppelt so hohe jährliche effektive Dosis zugeordnet werden wird. Somit ist zu erwarten, dass die errechnete mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland durch Radon von derzeit 1,1 mSv/a auf dann ca. 2,2 mSv/a ansteigen wird. Dies ist eine neue Bewertung der Dosis, nicht aber des Risikos; die Inzidenzrate ändert sich nicht durch diese Änderung. Insbesondere bleibt das Risiko in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in Innenräumen gleich.

Die Internationale Atomenergie-Organisation IAEO in ihren „Basic Safety Standards“ und die Europäische Union in den Novellierungen ihrer Grundnormen des Strahlenschutzes planen entsprechende Regelungen, die im Falle der EU als EURATOM-Richtlinie in nationales Recht umzusetzen sein werden. Die vorgeschlagenen Referenzwerte orientieren sich an den Empfehlungen der ICRP.

Zur Einhaltung dieser Referenzwerte sollte nach Auffassung des BfS der baustoffbedingte Anteil der Radoninnenraumkonzentration unter 20 Bq/m$^3$ bleiben. Dazu fehlt jedoch bislang eine standardisierte Mess- und Bewertungsmethode.

## II. Zivilisatorische Strahlenexposition

### 1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

#### 1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“(REI) von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und den zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Gemäß der REI werden in der bodennahen Luft in der Umgebung von Kernkraftwerken die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch bestimmt. Da-

Abbildung II.1-1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2012**
**Schwebstoffe und Jod-131**

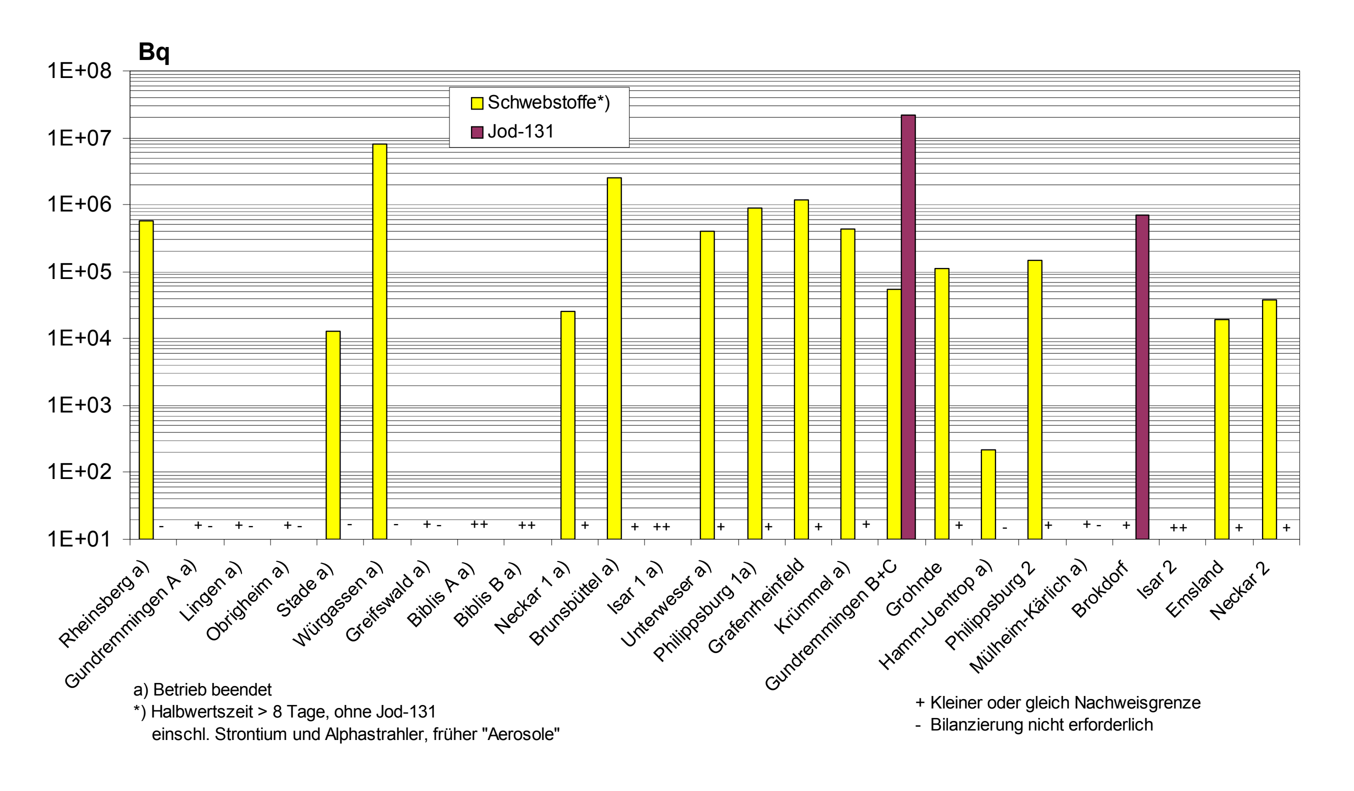



Abbildung II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2012**
**(C-14)$O_2$, Tritium und Edelgase**

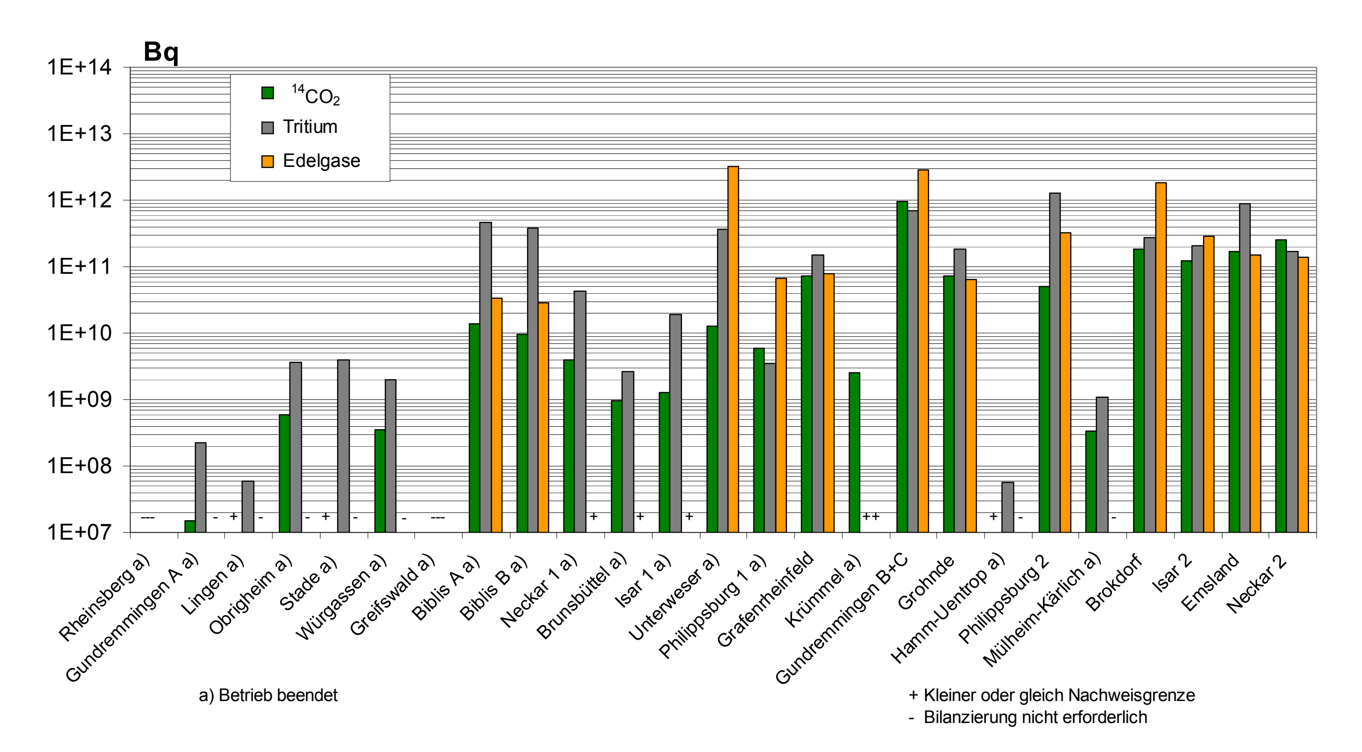


Abbildung II.1-3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2012**
**Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

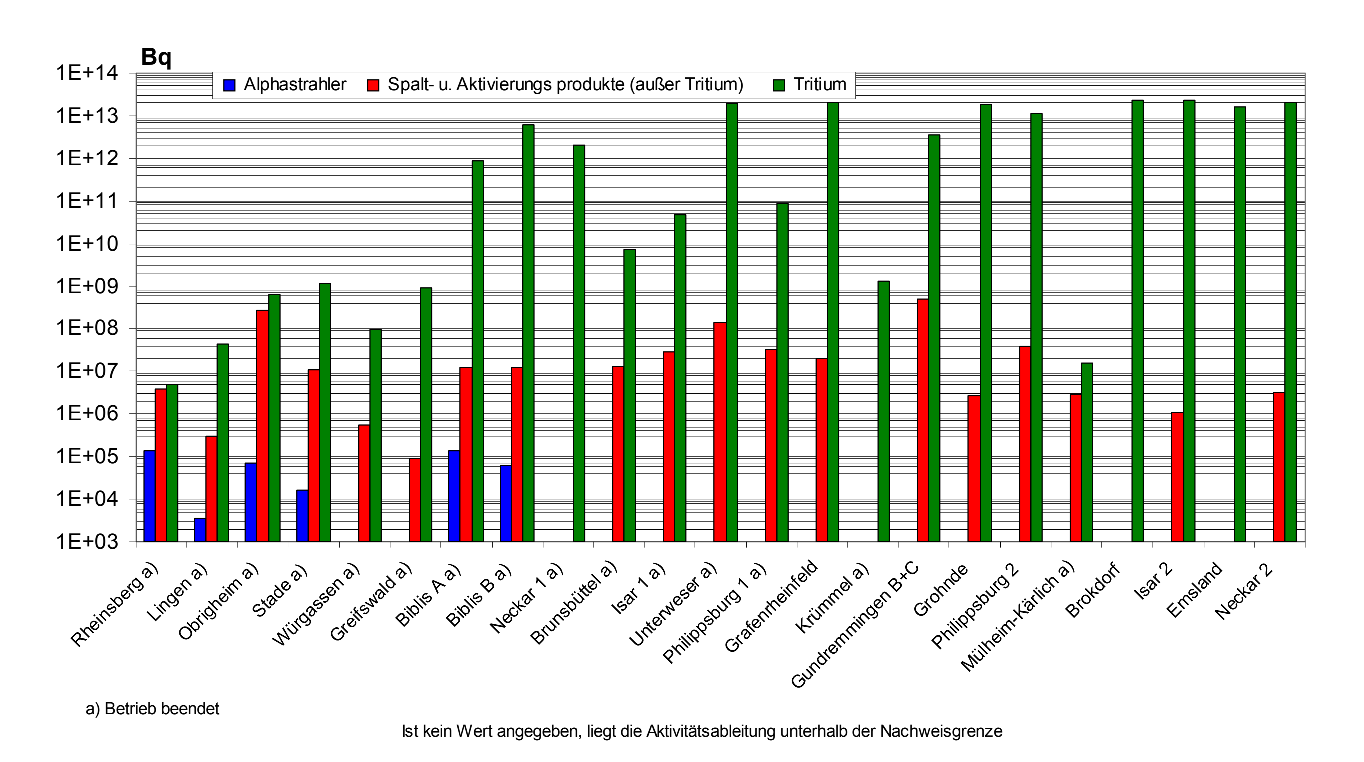
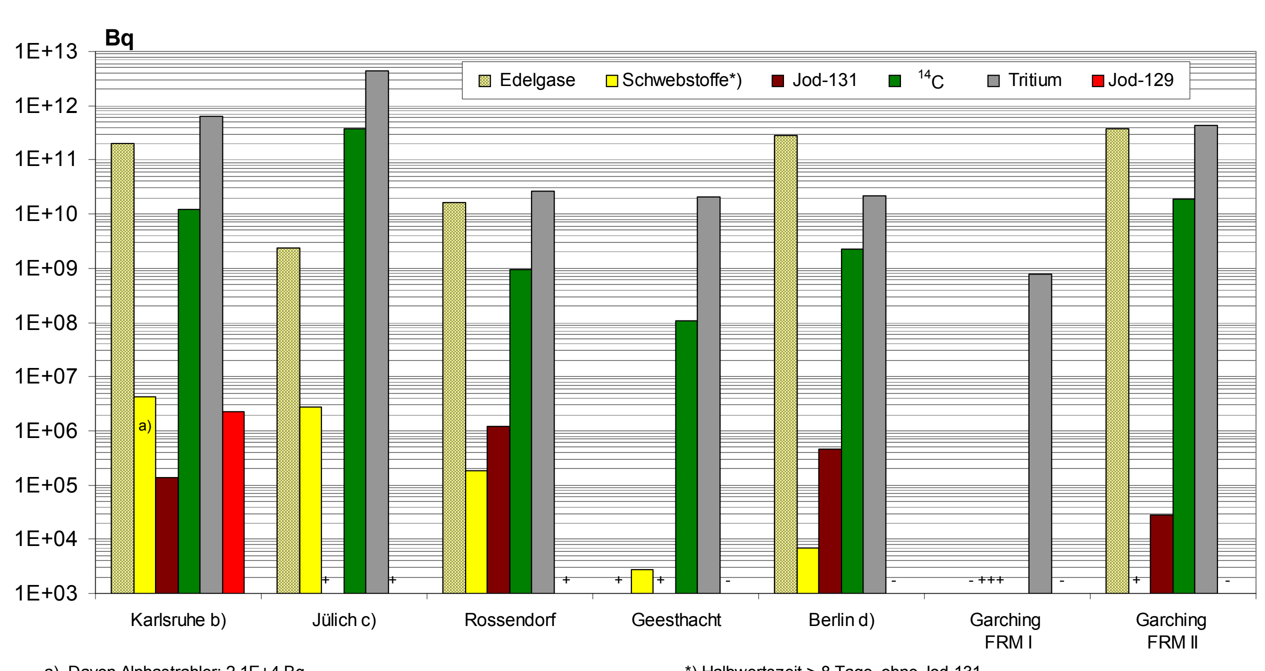



Abbildung II.1-4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2012**
**Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, C-14, Tritium und Edelgase**




a) Davon Alphastrahler: 2,1E+4 Bq
b) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
c) Einschließlich Versuchsreaktor AVR
d) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

rüber hinaus erfolgt die kontinuierliche Erfassung der Gamma-Ortsdosisleistung, die durch Messungen der Gamma-Ortsdosis mit integrierenden Dosimetern ergänzt wird (Tabelle II.1-2 und Tabelle II.2-1). Für Brennelementfabriken, Zwischen- und Endlager ist im bestimmungsgemäßen Betrieb neben der Überwachung der Gamma-Ortsdosis die Überwachung der Aktivitätskonzentration von Alphastrahlern (integral bzw. nuklidspezifisch) in der bodennahen Luft und im Niederschlag vorgesehen. Zusätzlich wird die Neutronenstrahlung in der Umgebung erfasst. Bei der Umgebungsüberwachung von Endlagern wird, abhängig von den mittleren integralen Aktivitätskonzentrationen im Fortluftstrom, ggf. eine gammaspektrometrische Bestimmung der Aktivitätskonzentration schwebstoffgebundener Radionuklide durchgeführt.

Tabelle II.1-1

**Kerntechnische Forschungseinrichtungen in Deutschland**

| Einrichtung | Standort |
|---|---|
| Karlsruher Institut für Technologie (KIT, bisher Forschungszentrum Karlsruhe) | Karlsruhe |
| Forschungszentrum Jülich | Jülich |
| Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) | Rossendorf |
| Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA) | Rossendorf |
| GKSS-Forschungszentrum | Geesthacht |
| Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI) | Berlin |
| Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM I+II) | Garching |

Die für 2012 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen II.1-1 bis II.1-3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie sind wegen des endgültigen Abschaltens von mehreren Kernkraftwerken in den Vorjahren weiter zurückgegangen und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte.

C-14 (Kohlenstoff-14) wird in Abbildung II.1-2 in Form von radioaktivem Kohlenstoffdioxid angegeben. Kohlenstoffdioxid gelangt über Assimilation in die Nahrungskette und führt damit zu einer Ingestionsdosis. Besonders aus Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes C-14 nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die Gesamtsumme an abgeleitetem C-14 über die Fortluft im Jahr 2012 beträgt an den in Abbildung II.1-2 aufgeführten Standorten 3,5 x $10^{12}$ Bq und liegt dabei etwas über dem Vorjahreswert von 3,0 x $10^{12}$Bq.

In Abbildung II.1-4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching für das Jahr 2012 zusammengefasst. Eine Übersicht über die Forschungszentren gibt Tabelle II.1-1. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung II.1-5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2012 zusammengestellt. Tabelle II.1-2 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser sowie der Direktstrahlung aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben. Die Messwerte zur Direktstrahlung beinhalten den natürlichen Untergrund.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2012 in Grenznähe, d.h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle II.1-3 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“

Tabelle II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser sowie Direktstrahlung* aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2012**

| Betrieb | Fortluft | Abwasser | Gamma-Ortsdosis | Neutronen-Ortsdosis |
|---|---|---|---|---|
| | Aktivität in Bq | | mSv/a | mSv/a |
| ANF GmbH Lingen | < 1,5 · $10^4$ | - | 0,65 (MP 4) | < 0,05 (alle MP, I. HJ)<br>0,07 (MP 3, II. HJ) |
| URENCO D Gronau | 3,2 · $10^4$ | 3,1 · $10^3$ | 0,82 (MP 3) | < 0,15 (alle MP, I. HJ)<br>0,07 (MP 4, II. HJ) |

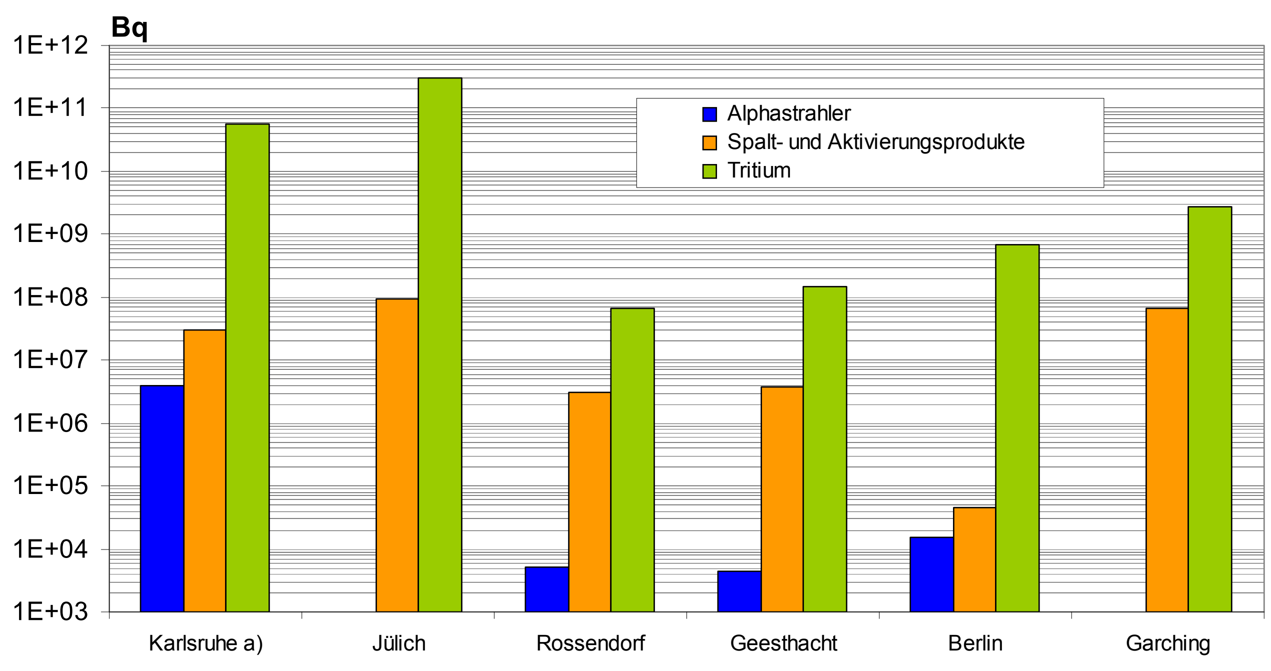
* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrundes

MP = Messpunkt, HJ = Halbjahr

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Abbildung II.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2012**
**Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**




a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

(ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/164.pdf).

Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen sind im Strahlenschutzbericht 2012 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) veröffentlicht (static.ensi.ch/1371738234/ensi_strahlenschutzbericht_2012.pdf).

### 1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird von der Leitstelle Fortluft des Bundesamtes für Strahlenschutz die Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der StrlSchV definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen“ vom August 2012 festgelegt ist (hier „oberer Wert“ genannt). Für die Forschungszentren hat das BfS die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen und Dosisberechnungen nicht übernommen. Diese werden deshalb von den Forschungszentren entsprechend der AVV selbst durchgeführt. Aus diesem Grund sind die Dosisangaben für Forschungszentren überwiegend deren Jahresberichten entnommen. Die in den Abbildungen

Tabelle II.1-3

**Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland**

| Land | Anlage/Standort | Entfernung zur deutschen Grenze |
|---|---|---|
| Schweiz | Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)<br>Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen (Kernforschung)<br>Kernkraftwerk Mühleberg<br>Kernkraftwerk Gösgen-Däniken<br>Kernkraftwerk Leibstadt | ca. 6 km<br>ca. 7 km<br>ca. 70 km<br>ca. 20 km<br>ca. 0,5 km |
| Frankreich | Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)<br>Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke) | ca. 1,5 km<br>ca. 12 km |
| Niederlande | Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)<br>Urananreicherungsanlage Almelo | ca. 20 km<br>ca. 15 km |

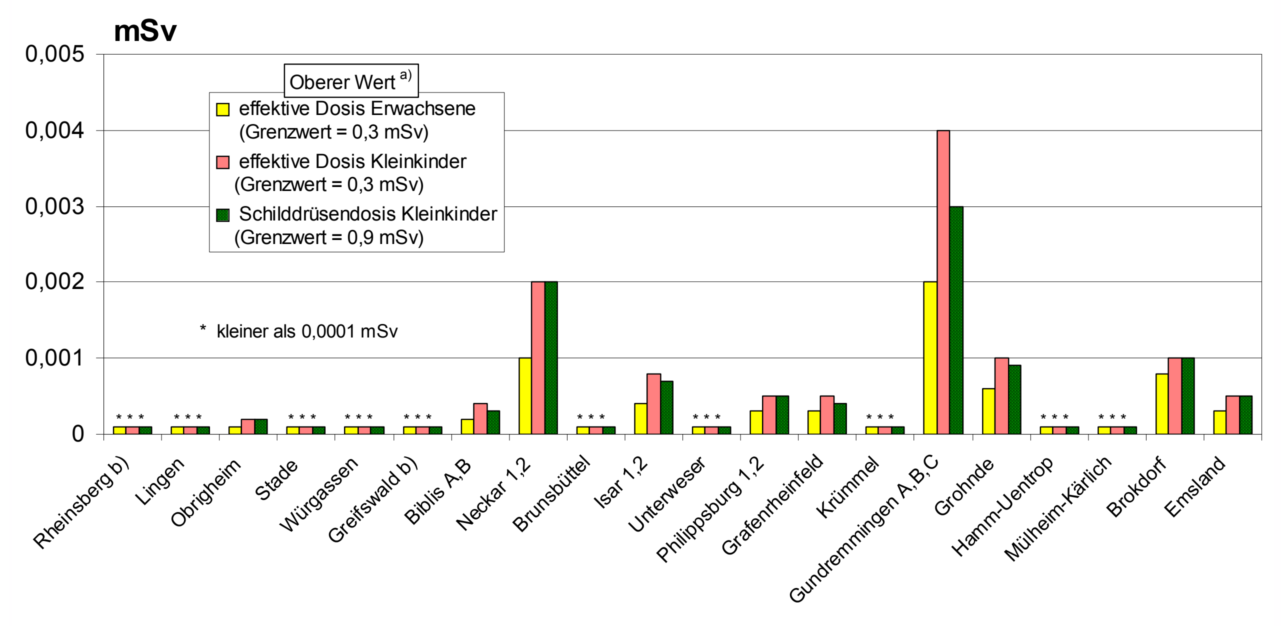
II.1-6 bis II.1-8 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Absatz 2 der StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der StrlSchV (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2012 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft enthält Abbildung II.1-6. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe über 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Abbildung II.1-6 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,002 mSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Gundremmingen sowie für Kleinkinder 0,004 mSv (unter 2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,003 mSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls für Gundremmingen. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen.

Abbildung II.1-6

**Strahlenexposition im Jahr 2012 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft**



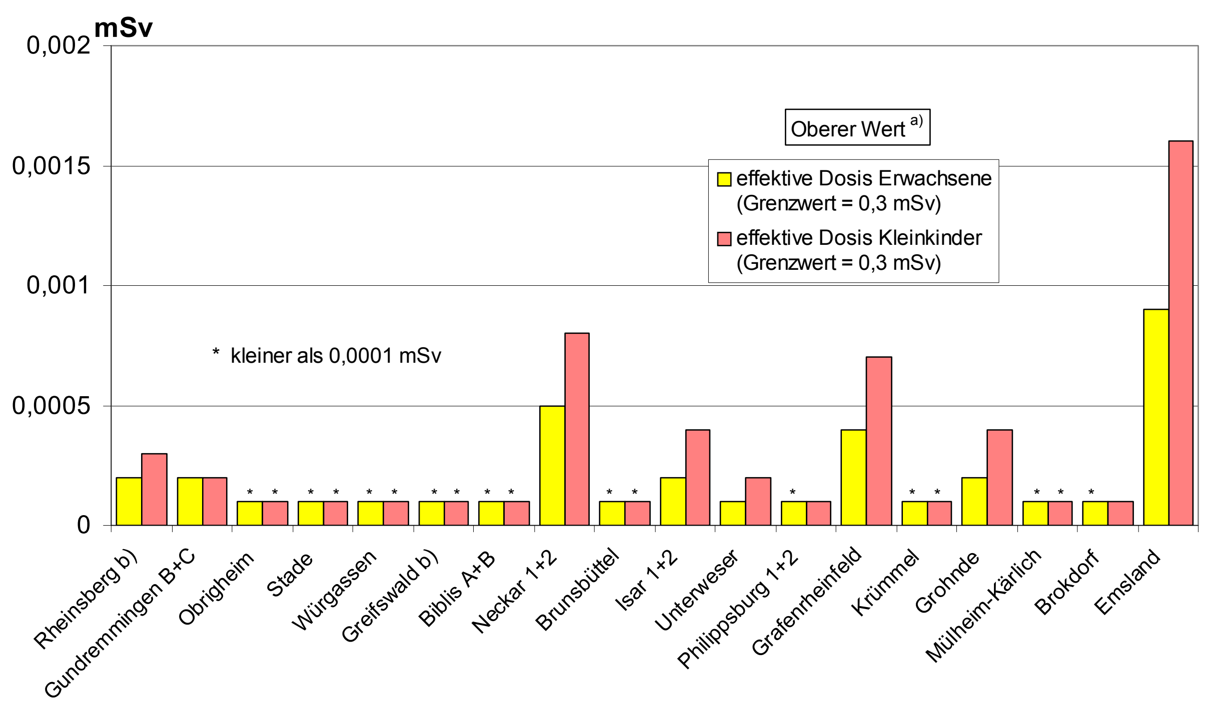

a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

In Abbildung II.1-7 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0009 mSv und für Kleinkinder 0,0016 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht etwa 0,3 % bzw. 0,5 % des Dosisgrenzwertes.

Gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche als Emittenten in Frage kommenden kerntechnischen Anlagen berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,0011 mSv für Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt. Die effektive Dosis für Erwachsene

Abbildung II.1-7

**Strahlenexposition im Jahr 2012 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser**




a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Jahre vor 1990 nicht vorliegen

betrug hier 0,0007 mSv. Am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0004 mSv berechnet. An der Donau liegen die effektiven Dosen bei 0,0003 mSv für Erwachsene und 0,0006 mSv für Kleinkinder. Die entsprechenden Werte am Main sind 0,0002 mSv und 0,0004 mSv. Am Rhein wurden effektive Dosen von jeweils 0,0001 mSv ermittelt. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung durch die auf Überschwemmungsgebieten abgelagerten Sedimente bei, die im Wesentlichen in früheren Jahren abgelagert wurden.

In Abbildung II.1-8 sind berechnete Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2012 als höchsten Wert 0,009 mSv (3 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Karlsruhe sowie 0,007 mSv (unter 3 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,01 mSv (unter 2 % des Grenzwertes) ebenfalls am Standort Karlsruhe.

Für die Strahlenbelastung über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2012 in Jülich obere Werte von 0,0014 mSv für Erwachsene und 0,0025 mSv für Kleinkinder. In Karlsruhe betragen die Werte für beide Bevölkerungsgruppen < 0,0001 mSv. Die Angaben stammen aus den jeweiligen Jahresberichten.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder unter 0,0001 mSv, der obere Wert der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder liegt in Lingen und in Gronau unter 0,0001 mSv.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten oberen Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe liegen wie im Vorjahr auch im Jahr 2012 jeweils unter 0,0001 mSv.

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle II.1-3) führte 2012 unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Jahresdosis einer erwachsenen Referenzperson von unter 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte von etwas über 0,01 mSv pro Jahr.

Abbildung II.1-8

**Strahlenexposition im Jahr 2012 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft**

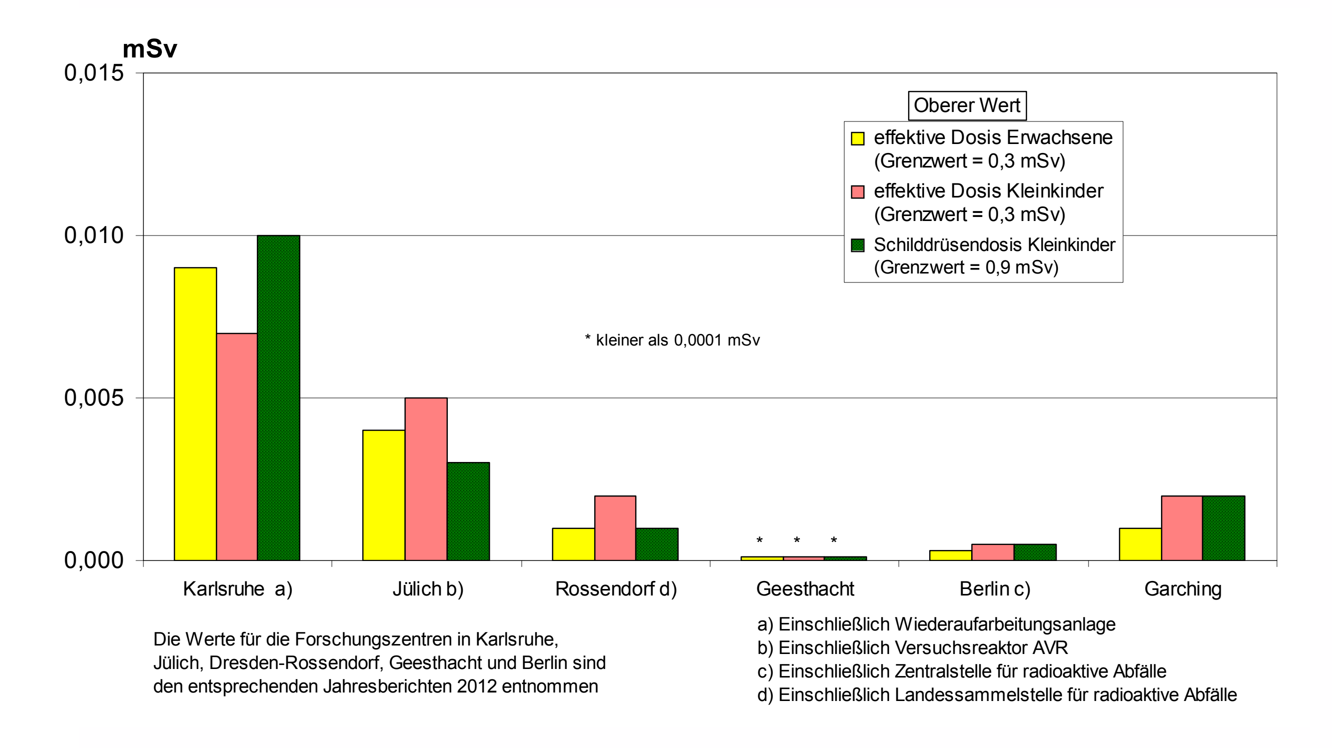



Tabelle II.2-1

**Ortsdosis* an den zentralen Zwischenlagern im Jahr 2012**

| Zwischenlager | Gamma-Ortsdosis | Neutronen-Ortsdosis |
|---|---|---|
| | mSv/a | mSv/a |
| Transportbehälterlager Ahaus | 0,47 (MP 9) | < 0,10 (alle MP) |
| Transportbehälterlager Gorleben | 0,92 (MP 2) | 0,33 (MP 14)** |
| Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow) | 0,85 (MP 15) | < 0,10 (alle MP, I. HJ)<br>0,57 (MP 15, II. HJ) |

* höchster gemessener Wert des Betreibers am Anlagenzaun einschließlich des natürlichen Untergrunds

** Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des TBL Gorleben an der Grenze des Betriebsgeländes einschließlich des natürlichen Untergrunds (MP 14 liegt in der Nähe des MP 2 des Betreibers)

MP = Messpunkt, HJ = Halbjahr

## 2. Sonstige kerntechnische Anlagen

### 2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente, dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben[3] sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Tabelle II.2-1 zeigt die gemessene Ortsdosis außerhalb des Geländes der zentralen Zwischenlager (Messwerte der Betreiber). Die Messwerte erfassen sowohl die Direktstrahlung aus den Zwischenlagern, als auch den natürlichen Untergrund. Um den Beitrag der Anlage abzuschätzen, ist ein Vergleich mit Messwerten des natürlichen Untergrundes notwendig, die während der Beweissicherungsphase vor dem Betrieb der Anlage gemessen wurden oder an Referenzmessstellen gemessen werden. Im Falle des TBL Gorleben waren im Jahr 2011 Messpro-

[3] Das TBL Gorleben ist zusätzlich für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt.

gramme durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) zum natürlichen Untergrund im Bereich des nördlichen Anlagenzaunes durchgeführt worden, um die Beiträge der natürlichen Strahlung zu ermitteln. Die Messungen haben ergeben, dass auf Grund des die Anlage umgebenden Erdwalles die ermittelte Gamma-Ortsdosis am Zaun natürlichen Ursprungs und kein Anteil des TLB nachweisbar ist. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur Neutronen-Ortsdosis wurde zu 0,065 mSv/a bestimmt.

Für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten treten im Normalbetrieb ebenfalls keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. Abbildung II.2-1 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2012. Im Transportbehälterlager Ahaus waren von 420 Stellplätzen wie im Vorjahr 56 Stellplätze mit insgesamt 329 Behältern belegt.

Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

## 2.2 Endlager

### Morsleben

Im Endlager Morsleben fließen seit 2012 zwei Schachtanlagen in die Berichterstattung ein: Schacht Bartelsleben und Schacht Marie. Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Abbildung II.2-2 dargestellt. Die daraus resultierende Strahlenexposition zeigt Abbildung II.2-3. Der ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,001 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,004 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,005 mSv; dies sind 0,3 %, 1,3 % bzw. 1,7 % des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Dosis für das kritische Organ (Knochenoberfläche für Kleinkinder, Säuglinge und Erwachsene) errechnete sich zu 0,031 mSv für Erwachsene, 0,038 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,055 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 1,7 %, 2,1 % bzw. 3,1 % des Grenzwertes). Die Dosiswerte sind allerdings sehr konservativ, da kein Abzug der Radioaktivität natürlichen Ursprungs in der Fortluft erfolgt. Da im Jahr 2012 erstmals ein weiterer Emittent (Schacht Marie) in die Dosisberechnungen einbezogen wurde, sind die Dosiswerte gegenüber dem Vorjahr größer. Die höheren Dosiswerte für mit Muttermilch ernährte Säuglinge gegenüber Kleinkindern sind darauf zurückzuführen, dass durch die Mutter aufgenommene Radionuklide an das gestillte Kind weitergegeben werden. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2012 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge. Bei den Berechnungen wurde für nicht identifizierte Betastrahler der ungünstigste Fall, dass es sich um Sr-90 handelt, angenommen.

### Schachtanlage Asse

In der Schachtanlage Asse II wurden zwischen 1967 und 1978 insgesamt rund 126 000 Fässer mit schwachradioaktiven Abfällen (LAW) und mittelradioaktiven Abfällen (MAW) eingelagert. Die schwachradioaktiven Abfälle lagern in zwölf Abbaukammern auf der 750- bzw. 725-m-Sohle. Die mittelradioaktiven Abfälle lagern in einer Kammer auf der 511-m-Sohle. Eine vorläufige Bewertung des Abfalls zum 31.12.2012 ergab ein Gesamtinventar von ca. $2{,}7 \times 10^{15}$ Bq, wobei 80 % dieser Gesamtaktivität auf die als schwachradioaktiv eingelagerten Abfälle entfallen. Im Zuge der Überarbeitung der Abfalldatenbasis durch das BfS werden sich zukünftig noch Veränderungen beim Inventar ergeben.

Seit dem 1. Januar 2009 hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) die Betreiberschaft für die Schachtanlage Asse II übernommen. Mit der Übernahme ist das Berechnungsverfahren für die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser dem für kerntechnische Anlagen üblichen Verfahren angepasst worden.

In Abbildung II.2-2 sind die im Jahr 2012 mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II abgeleiteten radioaktiven Stoffe dargestellt.

Die errechnete Strahlenexposition in Folge der Ableitungen ist in Abbildung II.2-3 aufgeführt. Die Werte liegen im Bereich der Dosis des Vorjahres 2011, sind aber höher als die jeweils entsprechende effektive Dosis bei Kernkraftwerken. Ursache dafür ist die Emission von Radon, die zur effektiven Dosis über Inhalation mit 0,013 mSv für Erwachsene beiträgt.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2012 für Erwachsene 0,019 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,026 mSv und für Säuglinge 0,028 mSv. Dies sind ca. 6 %, 9 % und 9 % des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Die Dosis ohne Radon[4] für das kritische Organ (rotes Knochenmark) wurde mit 0,040 mSv für Säuglinge, 0,025 mSv für Kleinkinder und 0,010 mSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 13 %, 8 % und 3 % des zulässigen Grenzwertes.

Die Strahlenexposition wurde bei der Schachtanlage Asse II insbesondere durch das radioaktive Edelgas Radon-222 (0,013 mSv für Erwachsene) und das natürliche Radionuklid Pb-210 (0,009 mSv bei Säuglingen, 0,002 mSv bei

[4] Die Dosisanteile durch Inhalation von Radon gelten nach der Dosiskonvention der ICRP 65 nur für die altersunabhängige effektive Dosis der Erwachsenen. In diesem Fall wurden sie in der effektiven Dosis auch für die beiden anderen Altersgruppen übernommen.

Abbildung II.2-1

**Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland**
**im Jahr 2012 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31.12.2012)**

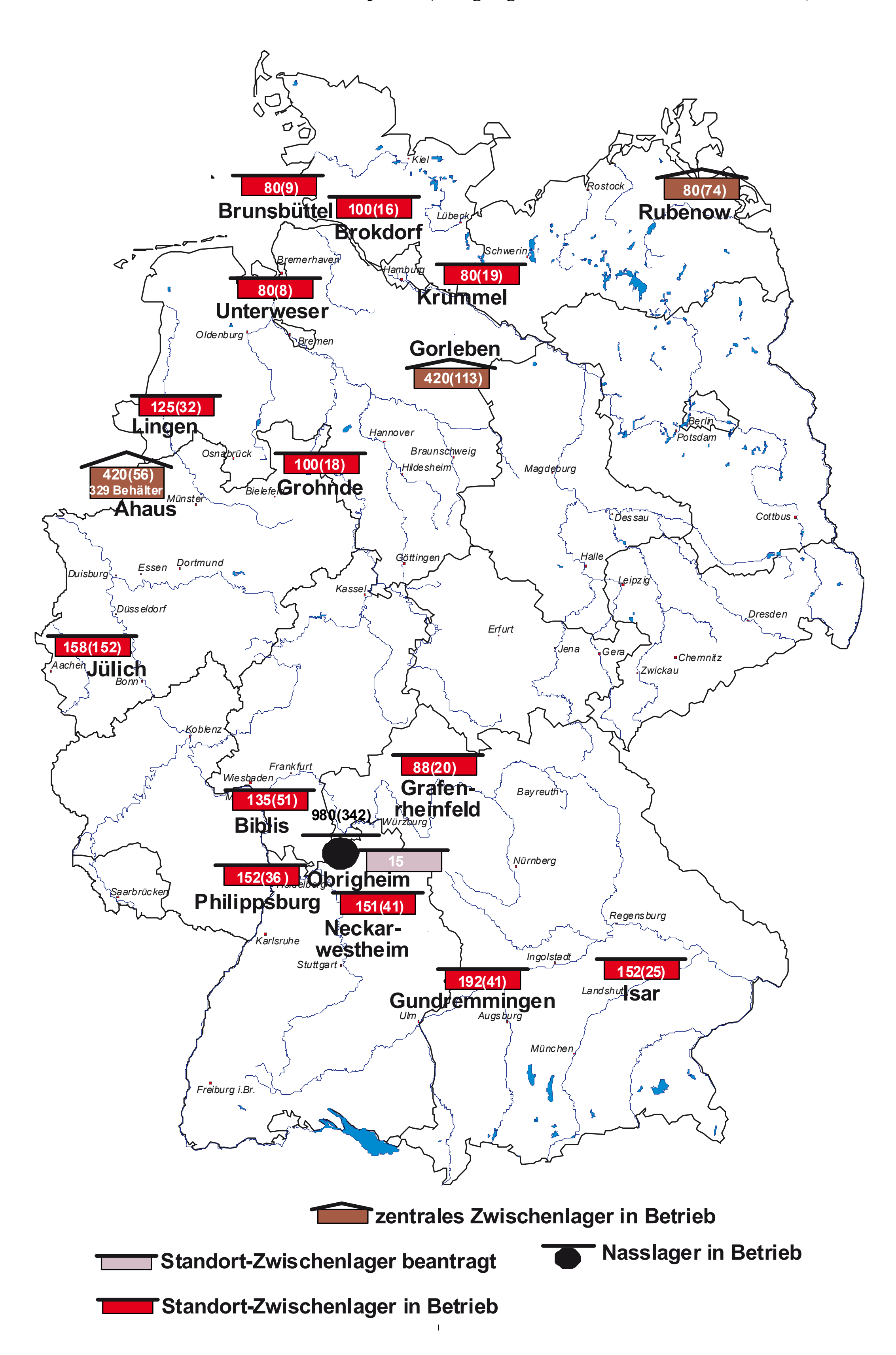


Abbildung II.2-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse im Jahr 2012**

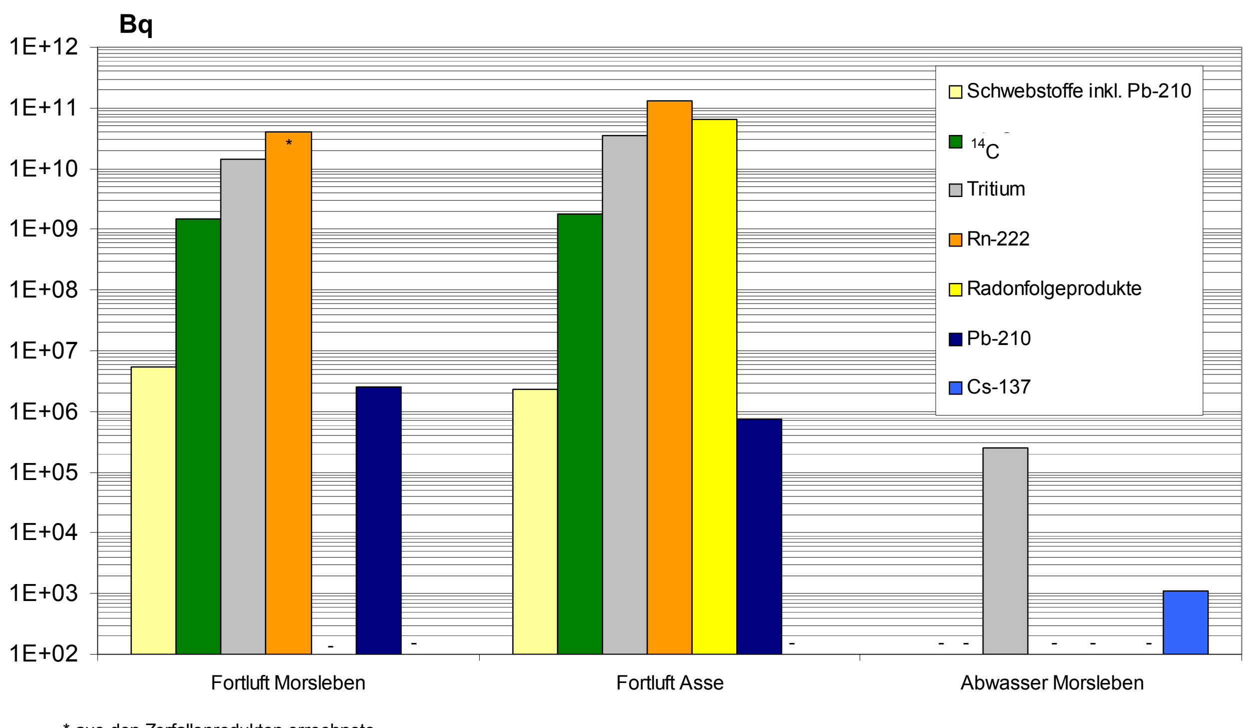
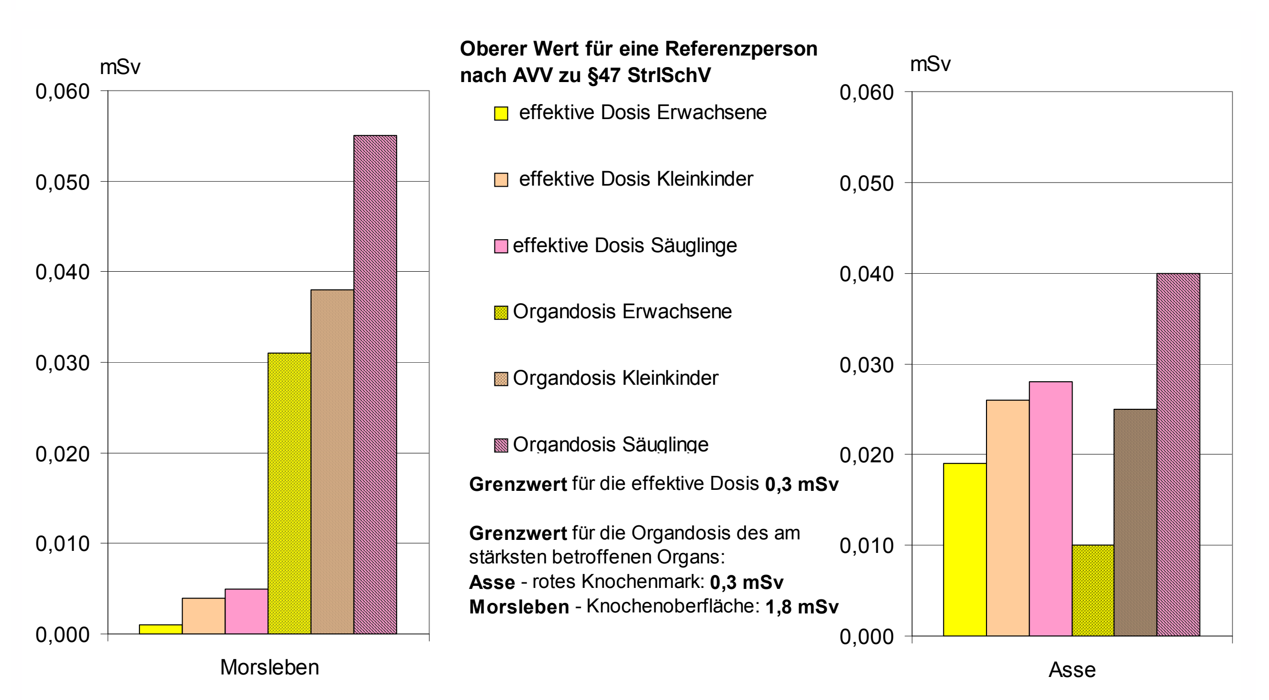



Abbildung II.2-3

**Maximale Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2012**



Erwachsenen) verursacht. Das Radionuklid Pb-210 entsteht durch radioaktiven Zerfall aus Radon-222 und wird zum überwiegenden Teil bereits mit den Frischwettern in die Grube eingebracht. Radon-222 ist ebenfalls bereits in den Frischwettern vorhanden, wird aber auch aus den in der Schachtanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfällen freigesetzt. Bei der Berechnung der potenziellen Strahlenexposition wurde nicht zwischen natürlichen und abfallbürtigen Radionukliden unterschieden, sondern konservativ angenommen, dass die in der Fortluft vorhandenen Radionuklide vollständig aus den eingelagerten Abfällen freigesetzt wurden.

Die durchgeführten Berechnungen basieren auf den nach REI gemeldeten Ableitungsdaten, Stand Juli 2013. Da entsprechend der REI, Anhang C eine nuklidspezifische Bilanzierung der Alpha- und Betastrahler, die aerosolgebunden über Schacht 2 abgegeben werden, eingeführt werden soll, können sich die berechneten Dosen zukünftig ändern.

Im Jahr 2012 wurden aus der Schachtanlage Asse keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad.

Die Entsorgung der Salzlösungen und der kontaminierten wässrigen Betriebsabfälle der Schachtanlage Asse erfolgt nach Freigabe nach § 29 StrlSchV. Die Salzlösungen werden nach uneingeschränkter Freigabe nach § 29 StrlSchV an die Grube Mariaglück abgegeben, die Entsorgung der kontaminierten wässrigen Betriebsabfälle erfolgt nach eingeschränkter Freigabe nach § 29 StrlSchV über definierte Wege (Vorbehandlung in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen, Nachbehandlung in Kläranlagen).

## 3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 2012 gemessenen Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im Allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen II.1-1 bzw. II.1-2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. $10^{15}$ Bq für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Schwebstoffe und ca. $10^{10}$ Bq für Jod-131 zeigt.

Auch zusätzlich auftretende Strahlenexposition z.B. durch Direktstrahlung führt nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes von 1 mSv nach § 46 der StrlSchV. Die Genehmigungswerte können niedriger liegen. Die aktuellen Werte für Ortsdosisleistung in der Umgebung von Kernkraftwerken und Forschungszentren sind dem ausführlichen Jahresbericht des BMU über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung zu entnehmen.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2012 unterschreiten 10 % der in § 47 StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte mit Ausnahme der Schachtanlage Asse II und Morsleben (ERAM), wo größtenteils bedingt durch natürliche Radionuklide (s. o.) auch höhere Grenzwertausschöpfungen erreicht werden können. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2012 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

## 4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH

Die bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus durch die Wismut GmbH unvermeidlich anfallenden radioaktiven Stoffe werden mit den Grubenwässern und der Fortluft in die Umwelt abgeleitet. Für diese Ableitungen werden von den zuständigen Landesbehörden Grenzwerte festgelegt, deren Einhaltung die Wismut GmbH gemäß der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten – REI Bergbau“ nachweisen muss. Die für das Jahr 2012 ermittelten Werte der flüssigen Ableitungen radioaktiver Stoffe und der Ableitungen mit der Fortluft bzw. den Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten und überwiegend nur zu einem geringen Teil in Anspruch genommen wurden (Abbildung II.4-1 und II.4-2).

Die Genehmigungswerte für flüssige Ableitungen wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 $m^3$/h, Königstein: 650 $m^3$/h, WBA Ronneburg: 750 $m^3$/h, Seelingstädt: 300 $m^3$/h, WBA Schlema 1 200 $m^3$/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l, WBA Ronneburg: 0,1 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l, WBA Schlema 0,5 mg Uran/l bzw. 0,4 Bq Radium-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) errechnet.

Die mit den Gruben- und Sickerwässern abgeleiteten Abwassermengen in alle großen Vorfluter haben sich gegenüber dem Vorjahresniveau witterungsbedingt wieder verringert. Bei den flüssigen Ableitungen von Uran fand ebenfalls eine Verringerung statt, während die Radiumableitungen anstiegen. Dies ist auf veränderte hydraulische Strömungen bei der Flutung der Grube Schlema/Alberoda und höheren Anteile der Grubenwässer um Ronneburg zu erklären. Die Funktion der WBA ist infolge ihrer Kapazitätserhöhung zuverlässig. Die genehmigten maximalen und mittleren Schadstoffkonzentrationen wurden unterschritten.

Abbildung II.4-1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2012**

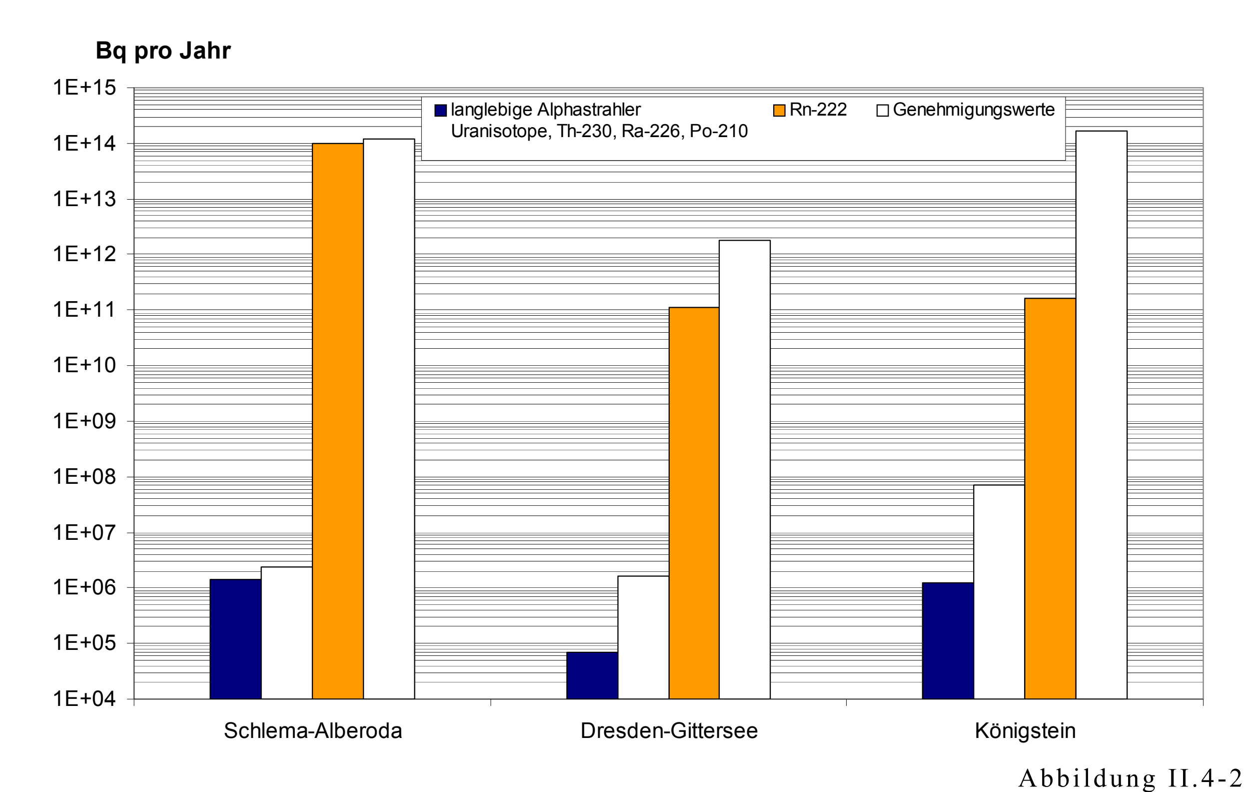
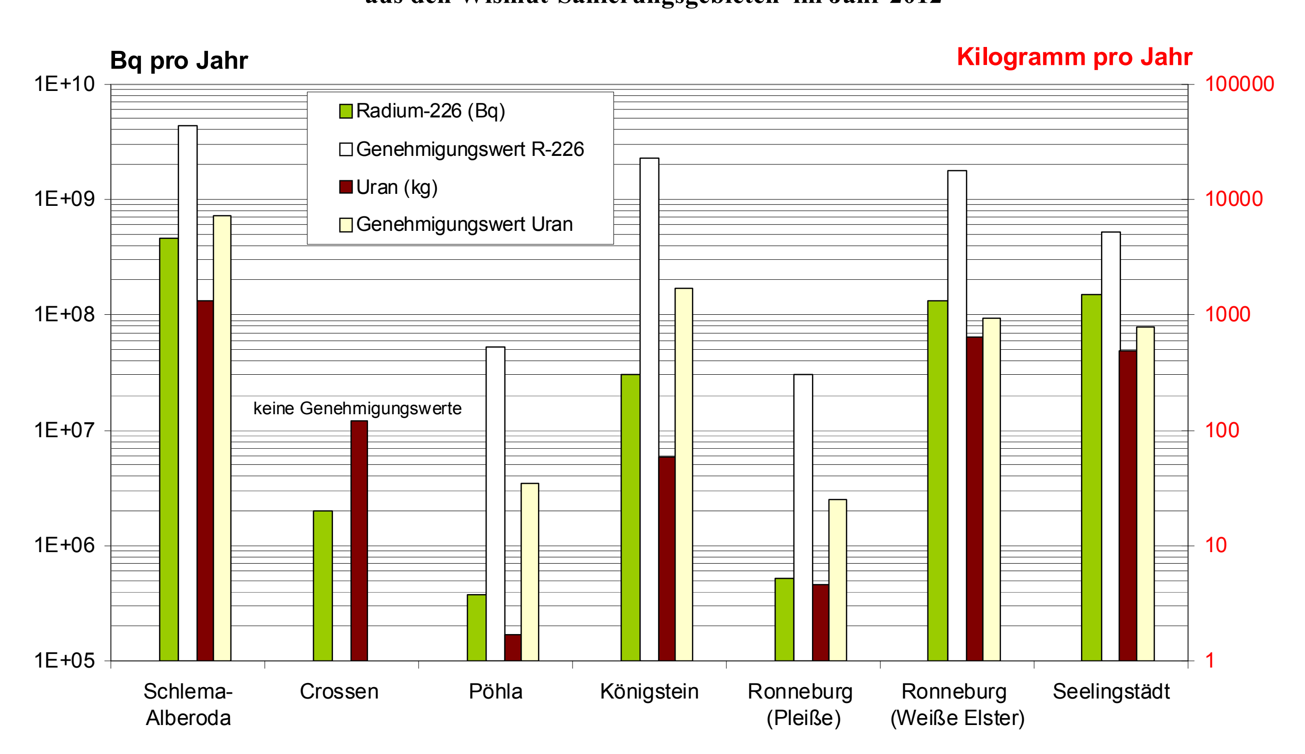



Abbildung II.4-2

**Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2012**



Auf Grund der im fortschreitenden Sanierungsprozess erfolgenden Einbindung weiterer Haldenkomplexe werden bisher diffus angefallene Sickerwässer und Porenwässer aus Absetzanlagen sowie unkontrollierte Flutungswasseraustritte erfasst und einer Behandlung zugeführt. Auch die Umlagerung von kontaminierten Materialien, eine in einzelnen Flutungsbereichen veränderte Wasserzusammensetzung und verstärkt anfallende Flutungswässer führen teilweise zur Erhöhung oder Stagnation der abgeleiteten Schadstoffe. Infolge der Behandlung weiterer bergbaulich beeinflusster Wässer wird langfristig jedoch eine Konzentrationsabnahme einsetzen.

Insgesamt wird deutlich, dass das jetzt erreichte Niveau der Ableitungen auch weiterhin den durch die meteorologischen Verhältnisse geprägten Schwankungen unterliegen wird und somit keine steuerbare Größe darstellt.

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsstandorte zeigten, traten in den unmittelbar von diesen Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den Vorflutern auf Grund der geringeren Abflussmenge Uran- und Radium226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürlichen Niveau deutlich erhöht waren. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch im unmittelbaren Bereich nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt, so dass dadurch keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen. Dagegen wurden in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren keine oder nur geringfügige Erhöhungen der Urankonzentrationen und der Radium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau festgestellt. Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,13 mSv pro Jahr (mSv/a) betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung weit unterschritten wird.

Auch bei den Ableitungen von Radon-222 und langlebigen Alpha-Strahlern aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. An den Standorten Dresden-Gittersee und Königstein haben sich die Jahresableitungen von Radon-222 gegenüber dem Vorjahr etwa halbiert, während die Ableitungen von langlebigen Alpha-Strahlern ungefähr den Vorjahreswerten entsprechen. Der Rückgang der Radonableitung am Standort Königstein ist eine Folge der im Rahmen von Sanierungsarbeiten erfolgten Stilllegung eines Abwetterschachtes. Am Standort Schlema/Alberoda gab es gegenüber dem Vorjahr bei den Jahresableitungen sowohl für Radon-222 als auch für die langlebigen Alpha-Strahler nur geringe Veränderungen. An allen Thüringer Standorten sowie im sächsischen Pöhla konnten die Ableitungen völlig eingestellt werden und werden nunmehr fast ausschließlich von den Standorten Königstein und Schlema/ Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier bis zu 0,5 mSv betragen.

Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und an einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen meteorologischen Bedingungen (z.B. Inversionswetterlage in Tallagen, länger anhaltende Trockenheit) Radon-222-Konzentrationen im Freien festgestellt, die bis etwa das Zweifache des natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveaus betragen können. Radon-222-Konzentrationen im Freien, die aus Sicht des Strahlenschutzes bedeutend sind, treten jedoch in Wohngebieten nur in unmittelbarer Nähe solcher Hinterlassenschaften auf.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden vom BfS im Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ systematisch erfasst, untersucht und radiologisch bewertet. Die Ergebnisse des Projektes stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Behörden in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zur Verfügung. Von September 2003 bis Dezember 2012 wurden auf der Grundlage eines Verwaltungsabkommens zwischen dem Bund und dem Freistaat Sachsen ausgewählte Wismut-Altstandorte saniert. Ein ergänzendes Verwaltungsabkommen sichert bis 2022 die Weiterführung dieser Sanierungen.

## 5. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt

Die StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z.B. Spielwaren, Schmuck, Lebensmittel und Tabakerzeugnisse.

Sie regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Die Genehmigung dieser Anwendungen ist beim Bundesamt für Strahlenschutz zu beantragen.

### 5.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität können in Industrieerzeugnissen wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten sein. Der Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z.B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstands-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

Die StrlSchV regelt den Umgang mit diesen radioaktiven Stoffen und die RöV den Einsatz von Röntgengeräten, um sowohl die Arbeitnehmer als auch die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrieerzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, lag bisher unter 0,01 mSv pro Jahr. Es ist davon auszugehen, dass dies auch für das Jahr 2012 gilt.

### 5.2 Hochradioaktive Strahlenquellen

Hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ) werden in einem zentralen Register erfasst. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Genehmigungs-, Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft sowie Standort aller in Deutschland befindlichen HRQ erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird vom Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle umschlossenen Strahlenquellen, die in Deutschland in den Verkehr gebracht wurden und deren Aktivität den durch die Strahlenschutzverordnung festgelegten, nuklidspezifischen Grenzwert überschreitet[5], zentral erfasst. Darüber hinaus müssen dem Register auch mögliche Verluste oder Funde von HRQ unverzüglich gemeldet werden. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die Europäische Richtlinie 2003/122/ EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt und mittels StrlSchV in nationales Recht umgesetzt.

In Deutschland existiert für HRQ ein breites Anwendungsfeld. Während derartige Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden (z. B. Cs-137-Strahler in Afterloading-Geräten), verwendet die Industrie hochradioaktive Strahlenquellen, z. B. für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (z. B. Gammaradiographie für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mit Ir-192 oder Se-75). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung, wo beispielsweise Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet werden.

Ende 2012 waren im Register für hochradioaktive Strahlenquellen insgesamt 646 (2011: 630) Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten aufgenommen. 60 (2011: 50) Bundes- und Landesbehörden hatten Zugang zum HRQ-Register. Zu 27200 (2011: 23500) registrierten Strahlenquellen wurden 97000 Meldungen bis Ende des Jahres 2012 (2011: 79000 Meldungen) über deren Erhalt, Abgabe und Kontrolle in das HRQ-Register aufgenommen. Von diesen 27200 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 40 % hochradioaktive Strahlenquellen im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da ein Großteil dieser Strahlenquellen sich entweder nicht mehr im Geltungsbereich der deutschen Strahlenschutzverordnung befand oder auf Grund des radioaktiven Zerfalls (insbesondere Nuklide mit einer geringen Halbwertszeit wie Ir-192 oder Se-75) wieder eine Aktivität unterhalb des HRQ-Grenzwertes aufwies.

### 5.3 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte, z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter, oder Einrichtungen, bei deren Betrieb Röntgenstrahlen entstehen, die nicht genutzt werden. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, falls keine Bauartzulassung vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in § 5, Absatz 2, Satz 1 der RöV auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt dadurch auch 2012 weniger als 0,01 mSv.

### 5.4 Freigabe schwach radioaktiver Stoffe

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur schwach radioaktiv kontaminiert oder aktiviert wurde. Den Hauptanteil bilden Baustoffe, die nach der Freigabe, d. h. der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung, wieder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden können. Nach StrlSchV ist Freigabe sinngemäß definiert als Verwaltungsakt, durch den radioaktive Stoffe, bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen sowie Anlagen oder Anlagenteile, die aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind, aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen werden.

Zur Frage, unter welchen Bedingungen schwach radioaktive Stoffe freigegeben werden können, hat sich international ein Konsens gebildet, wonach eine Freigabe solcher Stoffe dann verantwortet werden kann, wenn sie für Einzelpersonen der Bevölkerung nur zu geringfügigen Strahlenbelastungen, die allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert (µSv) im Kalenderjahr liegen, führt. Dieses Kriterium ist in der StrlSchV als Voraussetzung einer Freigabeentscheidung fixiert worden. Die zuständige Behörde kann davon ausgehen, dass das Freigabekriterium erfüllt ist, wenn die Höhe der Radioaktivität im freizugebenden Material (ausgedrückt z. B. in Becquerel pro Gramm Material, Bq/g) die entsprechenden radionuklidspezifischen Freigabewerte unterschreitet. Freigabewerte finden sich in Anlage III, Tabelle 1 der StrlSchV. Es kann somit direkt über eine Messung der Aktivität des freizugebenden Materials entschieden werden, ob durch eine Freigabe eine Überschreitung der Strahlenexposition von 10 µSv pro Person im Kalenderjahr zu erwarten wäre oder nicht. Die Errechnung der tabellierten Freigabewerte geschieht mittels komplexer radioökologischer Modelle, die ver-

[5] Aktivität größer als 1/100 des A1-Wertes gemäß Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a, StrlSchV. Dieser Wert beträgt für die häufig verwendeten Nuklide Ir-192 und Co-60 z. B. 4 GBq, bzw. 10 GBq.

schiedene Expositionsszenarien, beispielsweise solche, die einen Deponiearbeiter betreffen, beinhalten. Über den Wert entscheidet in der Regel das restriktivste Szenarium, so dass alle weiteren Szenarien hierdurch automatisch abgedeckt sind (konservativer Ansatz). Freigabewerte liegen oft nahe an der technischen Nachweisgrenze für ionisierende Strahlung. Typische Szenarienrechnungen sind beispielsweise im Bericht der Strahlenschutzkommission (SSK)[6] von 1998 beschrieben.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 wurde die Freigabe von radioaktiven Stoffen zur Verwendung als nicht radioaktive Stoffe erstmals ausführlich und umfassend geregelt. Das der Freigabe zugrunde liegende Konzept war im Hinblick auf die eingeschränkte Freigabe zur Deponierung unter anderem auf der Basis der im Jahr 2001 gültigen und prognostizierten Bedingungen der konventionellen Abfallwirtschaft aufgebaut. Zwischenzeitlich haben sich das europäische und das deutsche Abfallrecht im Hinblick auf die Eigenschaften des zu entsorgenden Abfalls bedeutend verändert. Diese veränderten Voraussetzungen für die Entsorgung konventioneller Abfälle machten es erforderlich, die Modellrechnungen zur Herleitung der Freigabewerte anzupassen. Gleichzeitig konnten einige Unklarheiten der Freigaberegelungen beseitigt und Erfahrungen aus dem Vollzug positiv eingebracht werden. Hinsichtlich der Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad wurde der Einfluss der Oberflächen- und der Basisabdichtung der Deponie ausdrücklich im Modell berücksichtigt. Derartige Verbesserungen fanden im Jahr 2011 Eingang in die Änderungsverordnung zur StrlSchV. Die aktuellen Änderungen und Ergänzungen der Freigaberegelung passen das bestehende Konzept den neuen Erfordernissen an und verbessern das Schutzniveau.

Die EU-Richtlinie 96/29 (Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen) enthält keine Freigabewerte, sondern die EU stellt bislang ihren Mitgliedstaaten nur Grundsätze für die Festlegung der Freigabewerte zur Verfügung. Im Rahmen der bevorstehenden Fortschreibung dieser Sicherheitsnormen wird jedoch die Einführung solcher Werte für die uneingeschränkte Freigabe, bei der keine Bedingungen an die weitere Verwendung und Verwertung der freigegebenen Stoffe gestellt werden, angestrebt. Entsprechende Freigabewerte wurden bereits von der IAEO in der „Safety Reports Series No.44[7]“ veröffentlicht. Die neuen EU-Sicherheitsnormen werden Anfang 2014 in Kraft treten. Anschließend müssen die Regelungen in nationales Recht umgesetzt werden.

6 Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Heft 16, Bonn 1998

7 Safety Reports Series No.44: “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA, Wien, 2005

## 6. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die Erze oder mineralische Rohstoffe verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen (z.B. Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Eisen- und Nichteisenmetallurgie) oder in technischen Geräten und Einrichtungen (z.B. Verkrustungen der Rohre und Pumpen in der Erdgas- und Erdölförderung) besonders an. Da solche Rückstände entweder in andere Wirtschaftsprozesse gelangen (z.B. Verwertung von Schlacken im Haus- und Straßenbau) oder beseitigt werden (z.B. Verbringung auf Deponien), können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rückstände, den Verwertungs- und Beseitigungsprozessen und den Standortgegebenheiten können diese Strahlenexpositionen in der Größenordnung der mittleren natürlichen Strahlenexposition und auch deutlich darüber liegen. Die Rückstände und die von ihnen ausgehenden Strahlenexpositionen müssen daher im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheitsschutz im System des Strahlenschutzes angemessen berücksichtigt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden mit der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Die Regelungen stehen im Einklang mit den diesbezüglichen europäischen Vorgaben in der Richtlinie 96/29/EURATOM zu den Grundnormen im Strahlenschutz und setzen diese in deutsches Recht um. Sie gelten bisher ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung von 2011 fallen auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen des Teils 3.

Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sowie deren Verbleib werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug der Strahlenschutzaufsicht obliegt, erfasst. Im Auftrag des BfS wurden Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. Tabelle II.6-1 gibt hierzu eine Übersicht.

Insbesondere bei der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas können Rückstände mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an natürlichen Radionukliden anfallen. Es handelt sich um Inkrustierungen in Aggregaten und Rohrleitungen, die sich über lange Betriebszeiträume absetzen und die die im geförderten Erdgas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener

Tabelle II.6-1

**Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g)**

| Zuordnung der Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) | Masse [t/a] |
|---|---|
| Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie | 20 – 60 |
| Anlagenteile mit Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie | 20 – 400 |
| Schlämme aus der Erdöl- und Erdgasindustrie | 50 – 250 |
| Rückstände aus der Aufbereitung von Phosphorgipsen | 100 |
| Rotschlämme aus der Bauxitverarbeitung | 600000 |
| Rückstände aus der Tantal-Produktion | unbekannt |
| Pyrochlorschlacken | 30 |
| Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie | 5000 |
| Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie | 30000 |
| Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie | 30000 |
| Sonstige uran- und thoriumhaltige Rückstände | 100 |

Wertstoffe - beseitigt, d.h. deponiert. Hierfür wird geprüft, ob die in der Strahlenschutzverordnung für den betreffenden Beseitigungsweg (z.B. Deponierung unter Tage) angegebenen Überwachungsgrenzen (spezifische Aktivität in Bq/g) und sonstigen Anforderungen eingehalten sind. Ist dies der Fall, können die Rückstände ohne weitere Strahlenschutzmaßnahmen beseitigt werden. Der vorgeschriebene Dosisrichtwert wird dann eingehalten.

Allerdings liegen die spezifischen Aktivitäten bei Rückständen aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung meist erheblich über den Überwachungsgrenzen. Sie können einige 10 bis mehrere 100 Bq/g (Radium-226, Radium-228), in Ausnahmefällen sogar um 1000 Bq/g betragen. Soweit jedoch der Inhaber der Rückstände für den vorgesehenen Beseitigungsweg nachweisen kann, dass der Richtwert für die Bevölkerungsexposition in Höhe von 1 mSv/a eingehalten wird und hierfür keine fortgesetzten Strahlenschutzmaßnahmen nach den üblichen abfallrechtlichen Randbedingungen erforderlich sind, entlässt die zuständige Strahlenschutzbehörde auf Antrag die Rückstände aus der Strahlenschutzüberwachung. Ist die Entlassung aus der Überwachung nicht möglich, verbleiben die Rückstände im Regime des Strahlenschutzes. Die zuständige Landesbehörde kann in diesen Fällen anordnen, wie die Rückstände zu beseitigen sind und welche Schutzmaßnahmen Anwendung finden müssen. Auch bei anderen neuen Bereichen zur Nutzung natürlicher Ressourcen, deren Rückstände in der Strahlenschutzverordnung noch nicht aufgeführt werden, laufen vergleichbare Prozesse ab wie bei der Erdöl-/Erdgasförderung. Dazu gehört die Nutzung der tiefen Geothermie, bei der in den Rohren und Anlagen ebenfalls Ablagerungen entstehen. Wie erste Erfahrungen zeigen, weisen diese hinsichtlich der möglichen Radionuklidanreicherungen erhebliche Unterschiede auf, die durch die jeweils genutzten geologischen Formationen in Deutschland bedingt sind.

Rückstände der Erdgas- und Erdölindustrie sind in der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in Schleswig-Holstein und in Niedersachsen von Bedeutung. In Schleswig-Holstein betrifft dies den Betrieb einer Nordsee-Ölplattform, bei dem kesselsteinartige, feste Ablagerungen in den Förderrohren sowie Schlämme infolge der Trennung von Öl und Wasser anfallen. In Niedersachsen geht es um die bei der Nutzung von Erdgasvorkommen entstehenden Ablagerungen in den Förderrohren.

## 7. Fall-out durch Kernkraftwerksunfälle und durch Kernwaffenversuche

### 7.1 Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2012 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cäsium-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 54 % der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu eine Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) werden jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht. Dadurch wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt[8].

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 lagen im Berichtsjahr wie in den Vorjahren in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wurde mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,22 Bq Cäsium-137 pro

[8] BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2011, urn:nbn:de:0221-201204188048, Bonn, April 2012

Abbildung II.7-1



**Cäsium-137-Gehalt (Mittelwerte) von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2012 (Datenbasis des Bundes, Anzahl der Werte in Klammern)**

Wildschweine

**Bq/kg (FM)**
- < 60 (177)
- 60 - 600 (50)
- 600 - 6000 (12)
- > 6000 (2)

Rehe

**Bq/kg (FM)**
- < 60 (187)
- 60 - 600 (16)
- 600 - 6000 (0)
- > 6000 (0)

Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv resultierte (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen wurden weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cäsium-137-Aktivitäten reichten bei einigen Arten von Wildpilzen, z.B. Maronenröhrlingen (41 Messungen) bis 940 Bq/kg und bei Pfifferlingen (98 Messungen) bis 1490 Bq/kg. Eine Wintertrüffel enthielt 1820 Bq/kg. Bei Fischen traten bis zu 42 Bq/kg bei Flussbarsch auf (17 Messungen).

Bei Wildschweinen wurden nach wie vor stellenweise Überschreitungen des Höchstwertes von 600 Bq pro kg für Cäsium-137 gemessen; diese dürfen nicht vermarktet werden.

In Abbildung II.7-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland. Im Berichtsjahr wurden in Bayern und Hessen verstärkt Proben genommen. Diese zeigten in einigen Fällen Überschreitungen. 2012 wurden auch außerhalb der hochbelasteten Gebiete Süddeutschlands Überschreitungen des Höchstwertes gefunden.

In Bayern lag der Mittelwert von 88 Messungen an Wildschweinen bei 351 Bq/kg, die Werte reichten bis 9800 Bq/kg. Für Rehe lag der Mittelwert von 93 Messungen bei 25 Bq/kg mit einem Höchstwert von 428 Bq/kg. Auch in allen anderen Bundesländern gab es 2012 keine Überschreitung des Höchstwertes bei Rehfleisch.

46 Messungen an Wildschweinen in Nordrhein-Westfalen ergaben einen Mittelwert von 126 Bq/kg bei einem Höchstwert von 980 Bq/kg. In Niedersachsen lag der Mittelwert bei 86 Bq/kg (56 Messungen), der Maximalwert bei 1100 Bq/kg. In allen anderen Bundesländern wurde bei keiner Messung der Höchstwert von 600 Bq/kg überschritten.

Cäsium-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Spei-

sepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Die höchsten Aktivitäten weist das Fleisch von Wildschweinen aus großen geschlossenen Waldgebieten auf, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Aus dem selben Grund sind Wildschweine aus Gehegen, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, nur geringfügig belastet.

Der einmalige Verzehr von 500 g Wildschweinfleisch des am höchsten kontaminierten Tieres (9800 Bq/kg Cs-137) würde bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,07 mSv führen.

### 7.2 Fukushima

2012 waren in Deutschland wie schon in der zweiten Jahreshälfte 2011 keine erhöhten Radionuklidaktivitäten aus der Fukushima-Katastrophe mehr nachweisbar. Die Messergebnisse für das Jahr 2011 sind im Bericht der Leitstellen des Bundes zusammengefasst. [9]

### 7.3 Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt. Seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. In Nordkorea wurden 2006, 2009 und 2013 Kernwaffenversuche durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

## III. Berufliche Strahlenexposition

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in fünf Bereiche:

- Bei Personen, die genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv/a erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. In der Praxis werden auch oft Personen, die in Strahleschutzbereichen tätig sind, in denen eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv pro Jahr verursacht werden kann, überwacht. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter (Kapitel III.1.1).
- Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z. B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt (Kapitel III.1.2).
- Mit der StrlSchV vom 20.07.2001 ist auch Luftfahrtpersonal überwachungspflichtig, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann (Kapitel III.2.1).
- Des Weiteren wurde mit der StrlSchV 2001 in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen die Überwachung von Personen eingeführt, die bei Arbeiten[10] eine jährliche effektive Dosis von 6 mSv überschreiten können. Dies betrifft z. B. die Beschäftigten in Schauhöhlen, Wasserwerken oder Heilbädern (Kapitel III.2.2).
- Berufliche Strahlenexpositionen infolge von Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durch Beschäftigte der Wismut GmbH werden nach § 118 StrlSchV erfasst (Kapitel III.2.3).

Die Dosisfeststellung erfolgt in der Regel durch die von Landesbehörden bestimmten Messstellen. Diese melden ihre Dosisfeststellungen zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz. Dort werden die Meldungen aus den o. g. fünf Bereichen personenbezogen zusammengeführt und unter anderem auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte ausgewertet. Der gesetzlich festgelegte Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv pro Jahr.

## 1. Zivilisatorische Strahlenquellen

### 1.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, mit Ausnahme des Flugpersonals (siehe Kapitel III.2.1), werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl dieser überwachten Personen betrug im Jahr 2012 insgesamt ca. 352 000 und nahm gegenüber dem Vorjahr um ca. 2 000 Überwachte zu. Davon waren ca. 278 000 im Bereich der Medizin beschäftigt (ca. 6 000 mehr als im Vorjahr). Abbildung III.1-1 zeigt die Anzahl der Überwachten seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Die Anzahl des fliegenden Personals ist seit 2004 in dieser Abbildung dargestellt. Da Personen, die die Messstelle wechselten, bis einschließlich 1998 bisweilen doppelt erfasst wurden, kam es zu Mehrfachzählungen. Seit dem Überwachungsjahr 1999 treten infolge der zentralen, personenbezogenen Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen nicht mehr auf.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlung, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmt. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten

[9] BMU (Hrsg): Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland: Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz; Stand 2011, urn:nbn:de:0221-201204188048, Bonn, April 2012

[10] gemeint sind Arbeiten im Sinne von § 3 StrlSchV, also „Handlungen, die, ohne Tätigkeit zu sein, bei natürlich vorkommender Radioaktivität die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können“

Abbildung III.1-1

**Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Deutschland**
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

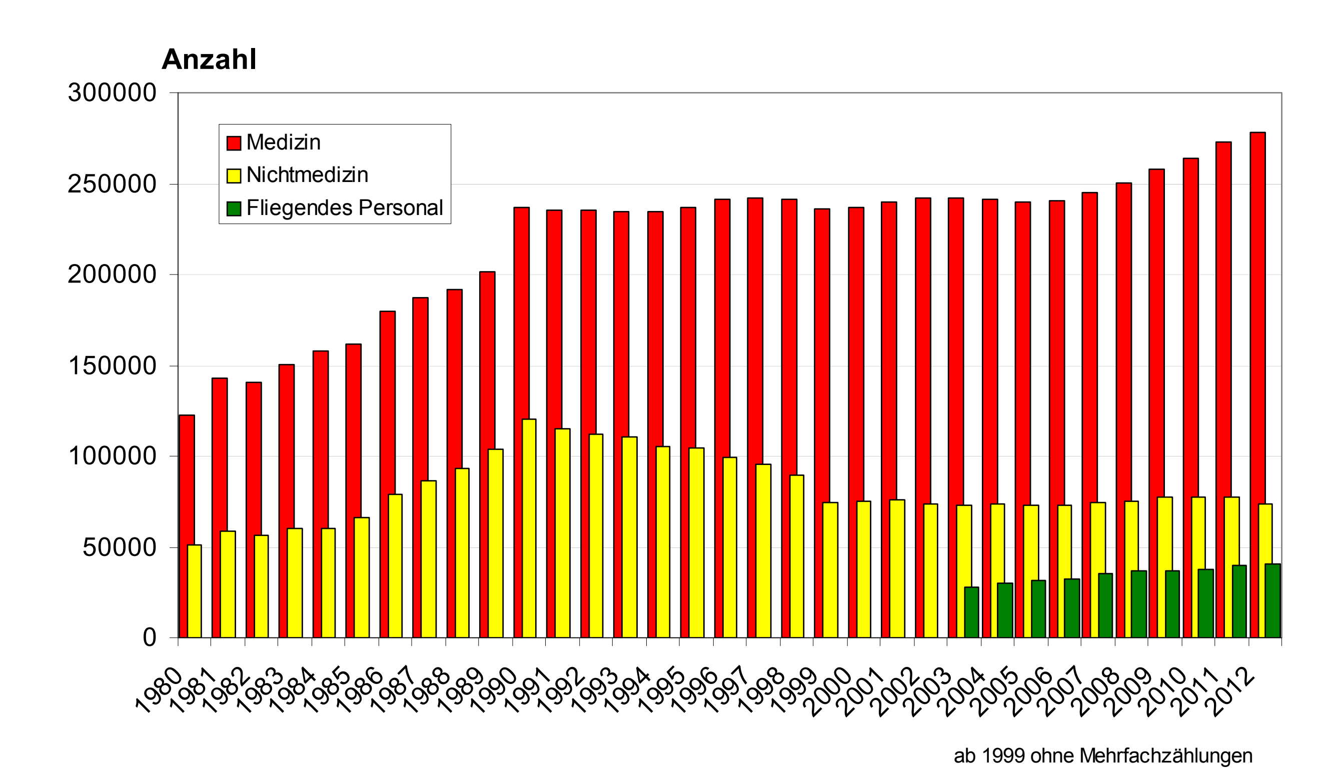
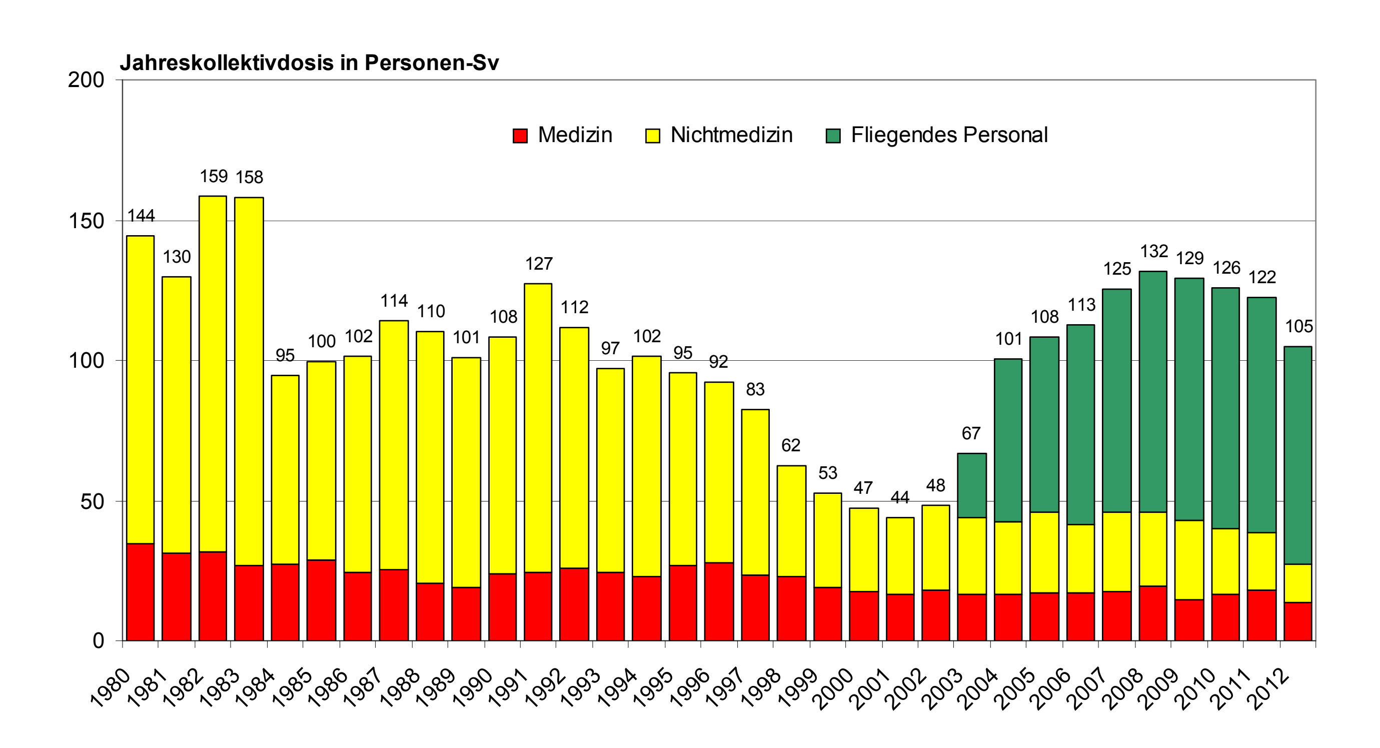



Abbildung III.1-2

**Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis beruflich Strahlenexponierter**
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)



(Kollektivdosis) im Jahr 2012 betrug 27,6 Personen-Sv (ohne fliegendes Personal).

Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt Abbildung III.1-2. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. Für die Gesamtheit aller Überwachten ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,01 mSv. Es ist jedoch zu beachten, dass bei 85 % dieser Überwachten während des ganzen Jahres gar keine Exposition auftrat bzw. die Expositionen unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter lagen. Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze wurden von den Messstellen als Personendosis mit dem Wert Null festgesetzt. Im Bereich Medizin erhielten 88 % und in den nichtmedizinischen Bereichen 81 % keine messbare Personendosis, d.h eine Dosis unterhalb der Erkennungsgrenze.

Abbildung III.1-3 zeigt, wie sich die Überwachten aus den verschiedenen Tätigkeitsbereichen bezüglich ihrer Jahrespersonendosis verteilen. Bei den exponierten Personen sieht man eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Eine Ausnahme bildet das fliegende Personal (s. Kap. III.2.1). Bildet man den Mittelwert nur für Exponierte, also für die überwachten Personen mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (53 000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,52 mSv. Dieser Wert liegt um 10 % niedriger als im Vorjahr (0,58 mSv). Für die Einschätzung der Aussagekraft dieses Wertes ist zu beachten, dass Personen, die beruflich keiner höheren Dosis als 1 mSv ausgesetzt sein können, nicht überwacht werden und deshalb nicht berücksichtigt sind.

2001 wurde im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM der Jahresgrenzwert für die berufliche Strahlenexposition von 50 mSv auf 20 mSv abgesenkt. Bereits ab 1999 ging die Anzahl der Personen, die einer höheren Dosis als 20 mSv im Kalenderjahr ausgesetzt waren, deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe Abbildung III.1-4). In den letzten zehn Jahren schwankte die Anzahl der Überschreitungen zwischen 2 und 22 Fällen. Bezogen auf die Anzahl der Überwachten liegt damit die relative Anzahl bei maximal 0,006 %. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. Ab dem Jahr 2005 sind in dieser Abbildung auch Grenzwertüberschreitungen durch Expositionen aus natürlichen Quellen enthalten (siehe Kapitel III.2, vor allem III.2.2).

Ist vorauszusehen, dass im Kalenderjahr die Organdosis für Hände, Haut oder Augenlinse größer als der entsprechend in § 41 Absatz 3 StrlSchV bzw. § 35 Absatz 5 RöV genannten Wert ist, so ist die Personendosis durch weitere Dosimeter auch an diesen Körperteilen festzustellen . Diese Überwachung wurde im Jahr 2012 bei 22 000 Personen durchgeführt. Bei 6 000 Personen wurden Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv gemessen. Die Grenzwerte für Teilkörperdosen wurden 2012 in sieben Fällen überschritten.

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Kernkraftwerken sind in den Abbildungen III.1-5 und III.1-6 enthalten.

### 1.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2012 meldeten 16 behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen Dosiswerte von 1251 inkorporationsüberwachten Personen (2011: 1338 Personen). Deren Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 2,0 Personen-Sv. Die maximale Jahresdosis infolge von Inkorporation betrug 3,1 mSv. In Tabelle III.1-1 sind die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung zusammengefasst.

Tabelle III.1-1

**Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2012**

| Dosis durch Inkorporation in mSv | Anzahl der Personen |
|---|---|
| **H = 0** | 1182 |
| **0 < H ≤ 0,1** | 45 |
| **0,1 < H ≤ 0,2** | 10 |
| **0,2 < H ≤ 1,0** | 11 |
| **1,0 < H ≤ 6,0** | 3 |
| **6,0 < H ≤ 20,0** | 0 |
| **H > 20,0** | 0 |
| **Gesamt** | 1251 |

## 2. Natürliche Strahlenquellen

### 2.1 Flugpersonal

Luftfahrtgesellschaften ermitteln seit 1. August 2003 mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis für das fliegende Personal und melden diese Werte über das Aufsicht führende Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS. In Deutschland wurden im Jahr 2012 40300 Personen überwacht. Die Kollektivdosis betrug 78 Personen-Sv. Die mittlere Jahresdosis sank von 2,1 mSv auf 1,9 mSv. 2012 betrug der höchste Wert der Jahresdosis 6,4 mSv, zwei Personen wiesen mehr als 6 mSv auf (siehe Abbildung III.1-3). Das fliegende Personal zählt in Bezug auf die Kollektivdosis und die mittlere Jahrespersonendosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland. Auch die Form der Dosisverteilung ist nicht mit anderen Berufsgruppen vergleichbar.

### 2.2 Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder

Nach § 95 StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen. Wird dabei eine erhöhte Strahlenbelastung festgestellt, so

ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen die Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2012 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition in Wasserwerken und Schauhöhlen für 210 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen wiesen 190 Überwachte eine messbare berufsbedingte Strahlenexposition auf.

Im Jahr 2012 gab es eine Überschreitung des Grenzwertes von 20 mSv. Bei 57 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt (2011: 18 Beschäftigte). Die mittlere Jahresdosis betrug 4,1 mSv (2011: 82 überwachte Personen, Mittelwert 5,3 mSv). Die Kollektivdosis betrug 0,9 Personen-Sv. Die Beschäftigten von Wasserwerken, Schauhöhlen, Heilbädern und Sanierungsbetrieben sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen III.1-1 und III.1-2 nicht enthalten. Die Dosisverteilung aller Überwachten ist in Abbildung III.1-3 dargestellt.

### 2.3 Sanierungsbetriebe

Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des ehemaligen Uranerzbergbaues ausführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Hierzu werden Messungen mit personengetragenen Exposimetern durchgeführt.

Im Jahr 2012 wurden für 170 Beschäftigte der Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH die Dosiswerte der durch natürliche Strahlenquellen verursachten Strahlenexposition an das Strahlenschutzregister übermittelt. Die Körperdosen durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten und Gammastrahlung werden mit personengetragenen Messgeräten erfasst, die für alle Überwachten eine messbare effektive Jahresdosis ermitteln. Die mittlere Jahresdosis betrug 1,2 mSv, die maximale Jahresdosis 3,6 mSv. Die Kollektivdosis betrug 0,2 Personen-Sv (2012: 182 Überwachte, Mittelwert 1,1 mSv, Maximalwert 4,4 mSv).

## 3. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst.

Etwa 80% der für das Jahr 2012 gemeldeten Vorkommnisse sind Funde von radioaktivem Material, die meist durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung des radi-

Abbildung III.1-3

**Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2012**

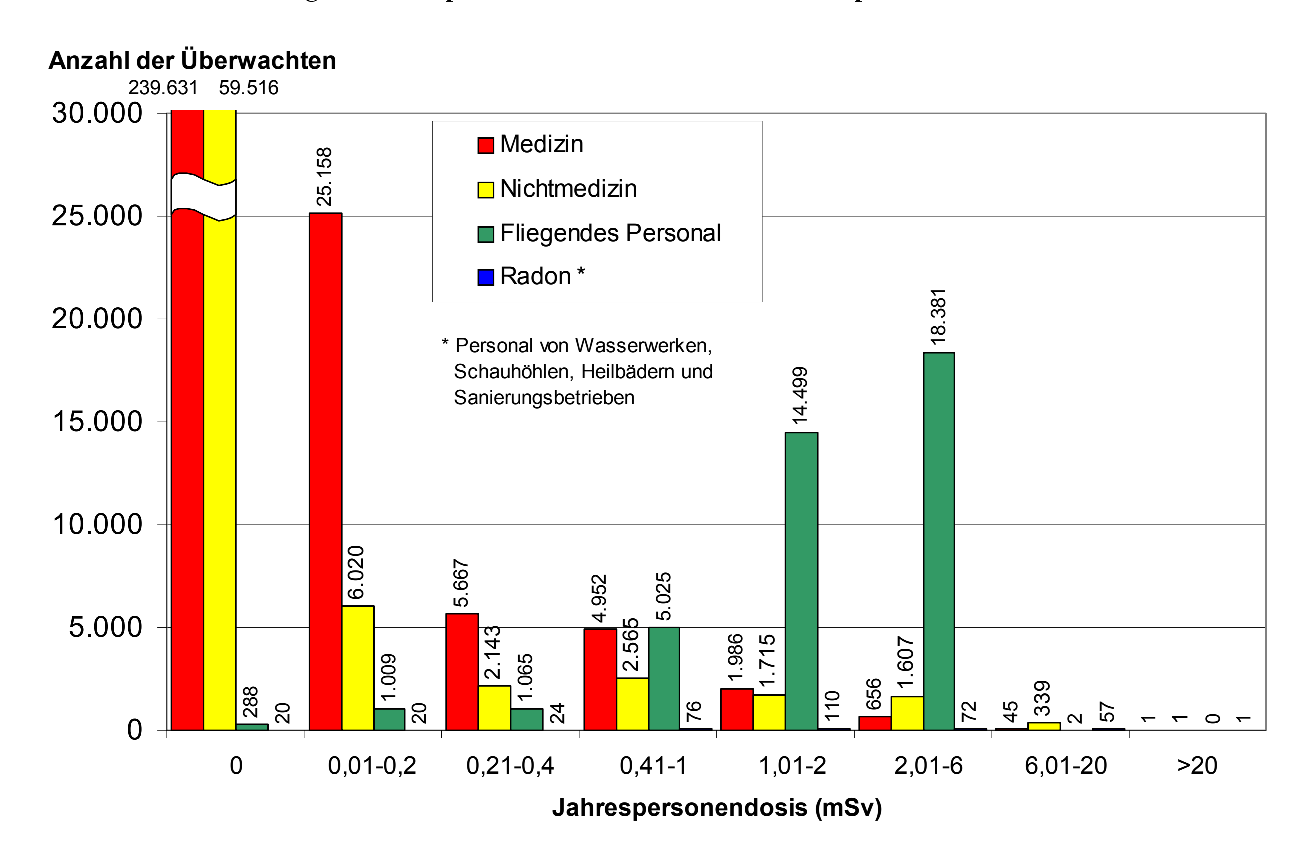


Abbildung III.1-4

**Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv**

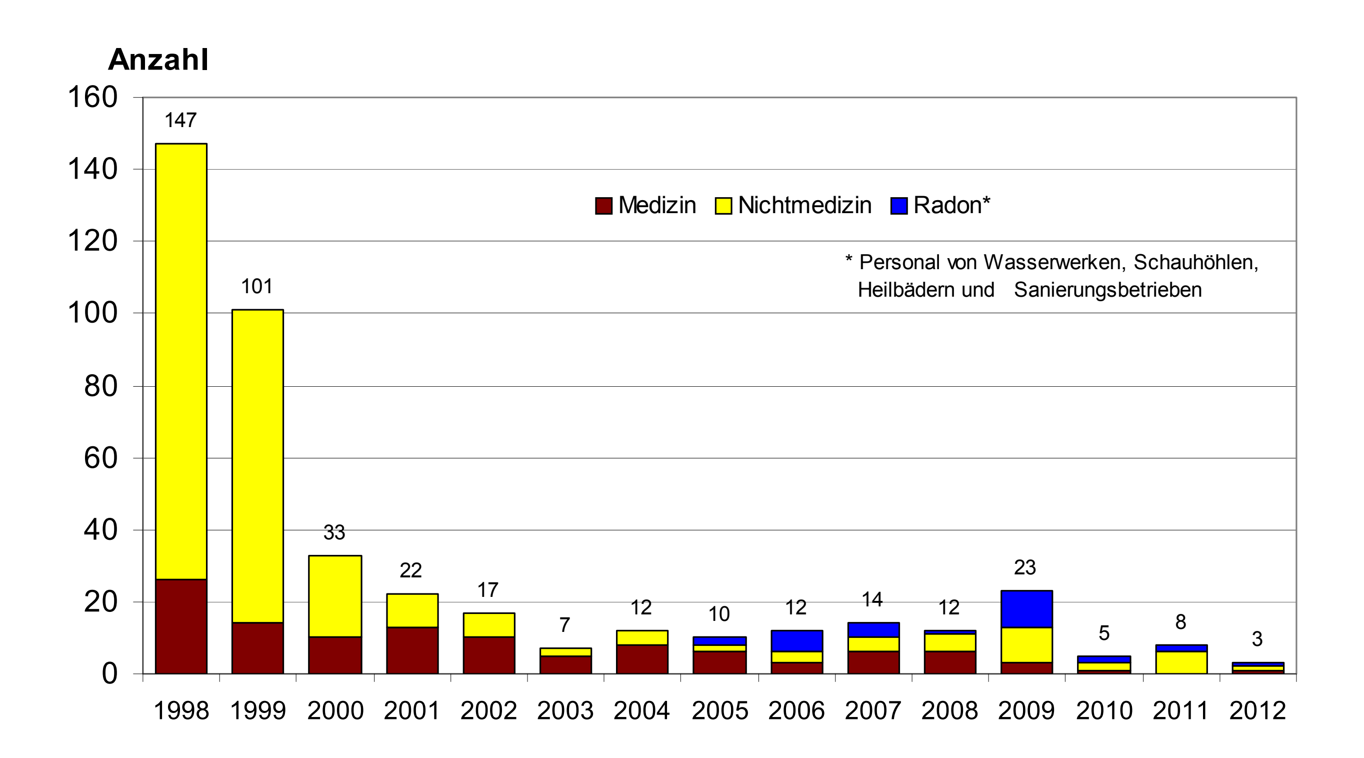



Abbildung III.1-5

**Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Kernkraftwerken**

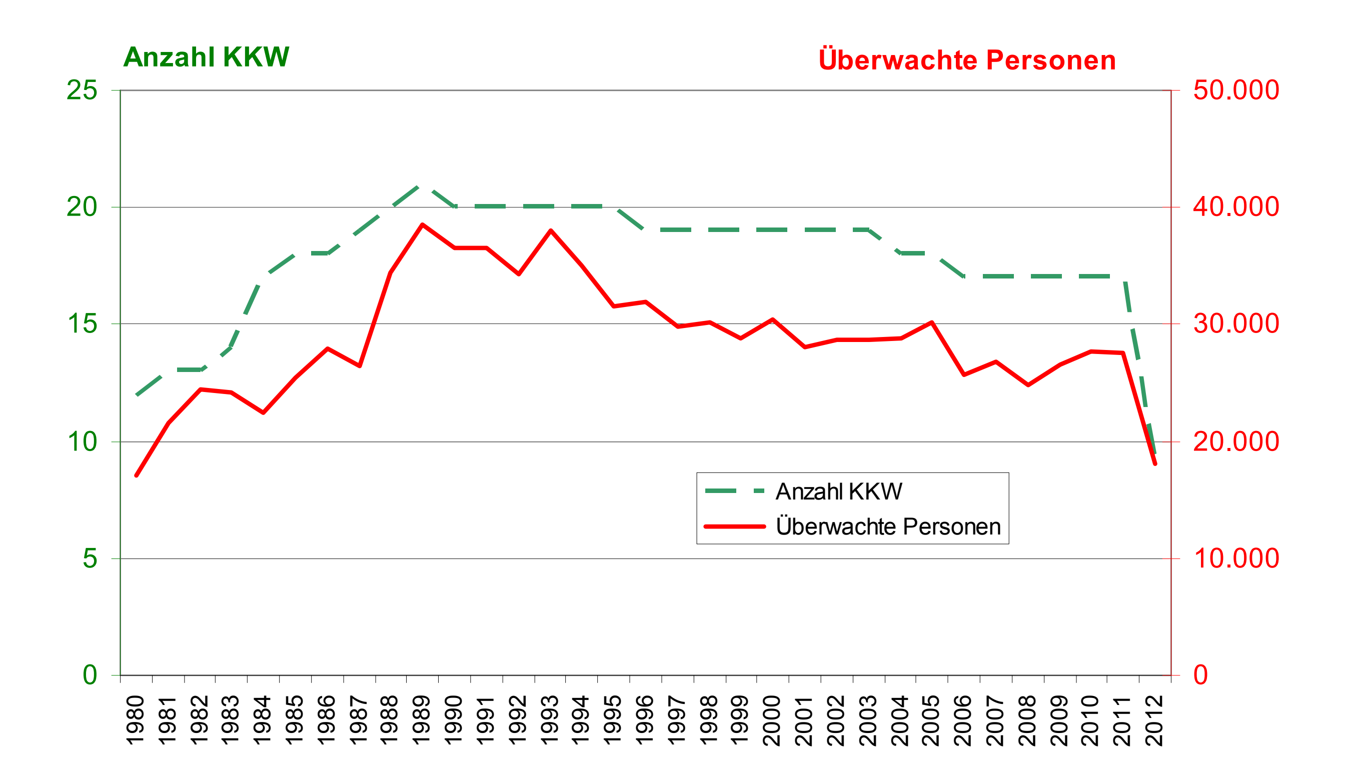
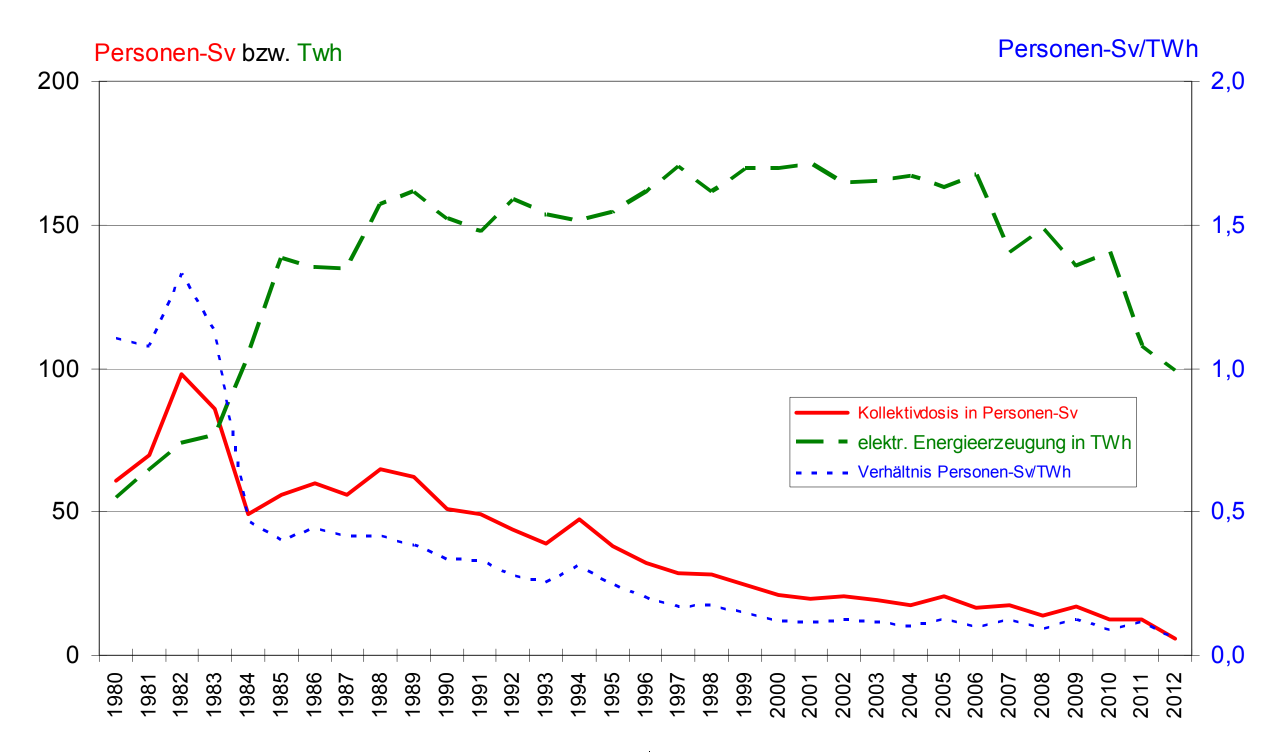


Abbildung III.1-6

**Kollektivdosis und Energieerzeugung in Kernkraftwerken**




oaktiven Stoffes verursacht wurden. Dabei kam es in keinem Fall zu einer radiologischen Gefährdung.

Durch menschliche Fehler (z.B. falscher Betriebsmodus oder Verwechslung patientenspezifischer Einstellungen) kam es im Jahr 2012 zu fünf Fällen von Fehlbestrahlungen, bei denen in zwei Fällen ungerechtfertigte Expositionen auftraten, die von der zuständigen Behörde und den ärztlichen Stellen untersucht werden. In der Folge wurden Maßnahmen zur Qualitätskontrolle (z.B. Vier-Augen-Prinzip) intensiviert.

Zur Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die Hand von 500 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen kam es in zwei Fällen - beim Umgang mit einem Pm-147 Strahler und bei der Vorbereitung einer medizinischen Behandlung. Vor-Ort Strahlenschutzmaßnahmen wurden umgehend eingeleitet(Tabelle III.3-1).

Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Juni 2010 (Nachtrag) | Irrtümliche Entsorgung von sechs Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 18,5 kBq) in einem Müllheizkraftwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Information der Betreiber |
| 19.01.11 (Nachtrag) | Fund einer radioaktiv kontaminierten Metallscheibe (Ra-226, ca. 800 kBq) in einem Recyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 09.02.11 (Nachtrag) | Fehlbestrahlung eines Patienten | Durchführung der Behandlung ohne die vorgesehene Kollimation | Leichte Akutreaktion der Schleimhaut des Patienten | Überarbeitung der Dienstanweisung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 01.03.11 (Nachtrag) | Fund eines Ionisationsrauchmelders | | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 06.04.11 (Nachtrag) | Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 18,5 kBq) | | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 06.05.11 (Nachtrag) | Unzulässige Exposition einer MTRA bei einem medizinischen Linearbeschleuniger | Aufenthalt im Bestrahlungsraum bei Beginn der Bestrahlung | Keine | Nachrüstung eines Personenüberwachungssystems |
| 09.06.11 (Nachtrag) | Fund von drei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 555 kBq) | | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 08.07.11 (Nachtrag) | Fehlerhafte Bestrahlung eines Patienten bei einem medizinischen Linearbeschleuniger | Fehler im Aufzeichnungs- und Verifikationssystem bei der Darstellung von Komma-Zahlen | Keine; Ausgleich der fehlerhaften Bestrahlung in nachfolgenden Behandlungssitzungen | Information der betroffenen Betreiber zur Fehlervermeidung durch die Herstellerfirma |
| 22.09.11 (Nachtrag) | Fund von zwei Flächenmassemessköpfen mit Strahlern (Sr-90, je 555 MBq) in einem Abbruchgebäude bei einer Privatfirma | Unterlassene Entsorgung | Keine | Vorübergehende Sicherstellung, Rückgabe an den Hersteller der Messeinrichtung |
| 13.10.11 (Nachtrag) | Fund eines Anzeigeinstrumentes mit Leuchtfarbe (Ra-226) im Aushub auf einem ehemaligen Militärgelände | Unterlassene Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 09.11.11 (Nachtrag) | Verlust von 30 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226, je 2,96 kBq) | Diebstahl | Keine | Polizeiliche Ermittlungen |
| 14.11.11 (Nachtrag) | Fund einer Scheibe mit radioaktiver Leuchtfarbe im Schrott (Ra-226, 300 kBq) bei einer Recycling-Firma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 15.11.11 (Nachtrag) | Fehlerhafte Bestrahlung einer Patientin bei einem medizinischen Linearbeschleuniger | Fehler bei der Datenübertragung zwischen Planungssystem und Beschleuniger | Keine; Ausgleich der fehlerhaften Bestrahlung in nachfolgenden Behandlungssitzungen | Information der betroffenen Betreiber zur Fehlervermeidung durch die Herstellerfirma |
| 19.11.11 (Nachtrag) | Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Armbändern und Uhren (Thorium; Radium) beim Flughafen-Zoll | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Gütern | Keine | Verwahrung beim Flughafen-Zollamt, Rücksendung in das Ursprungsland |
| 25.11.11 (Nachtrag) | Fund von sechs Anzeigeeinrichtungen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 500 kBq) bei einer Recycling-Firma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Dezember 11 (Nachtrag) | Verlust von 65 Ionisationsrauchmeldern (22 x Ra-226; 43 x Am-241; Aktivität von 2 bis 370 kBq) bei einer Firma | Unzulässige Entsorgung nach Firmeninsolvenz | Unbekannt | Polizeiliche Ermittlungen |
| 09.12.11 (Nachtrag) | Kontamination einer Person und des Raumes durch irrtümliche Öffnung eines Isotopengenerators (Pa-234m; U-238) bei einem Versuch in einer Schule | Verstoß gegen Bedienvorschriften durch unsachgemäße Handhabung des Versuchsgegenstands | Geringfügige Kontaminationen | Personenmessung, Dekontaminationsmaßnahmen, Freimessung der betroffenen Räumlichkeiten, ordnungsgemäße Entsorgung des Isotopengenerators |
| 15.12.11 (Nachtrag) | Fund eines Kunststofftanks (Volumen ca. 500 l) mit radioaktiv kontaminiertem Schlamm in einem Schrottcontainer (Ra-226, 727 Bq/g, im Schlamm, Ra-228, 548 Bq/g, in der Trockenmasse) | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung; Polizeiliche Ermittlung |
| 20.12.11 (Nachtrag) | Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Gegenständen (Ra-226, 160 kBq und 380 kBq) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.12.11 (Nachtrag) | Versehentliche Bestrahlung einer MTRA bei der Lagerungskontrolle eines Patienten in einem Klinikum | Irrtümliches Starten der Anlage durch eine zweite Person auf Grund fehlerhafter Kommunikation | Dosis der MTRA nach Abschätzung unerheblich | Erneute Unterweisung des Personals |
| 03.01.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlrohrs (Ra-226, 4,6 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | gering | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 04.01.12 | Fund von Thorium-Nitrat (Th-232, 4,7 µSv/h an der Oberfläche) bei einem Recyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 19.01.12 | Fund einer Scheibe mit radioaktiver Leuchtmarkierung (Ra-226, 1,8 MBq) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.01.12 | Fund von Aluminiumgussteilen mit radioaktiven Stoffen (Sr-90, 30 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.01.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Co-60, 160 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Entsorgungsbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 25.01.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Co-60, 300 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 31.01.12 | Fund von Gipskartonplatten mit erhöhter Radioaktivität (Ra-226, 500 Bq/kg) bei einem Abbruch-Unternehmen | Radioaktivität im Baumaterial | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 07.02.12 | Fund von radioaktiv kontaminiertem medizinischem Müll (I-131, 15 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Abfallverwertungsanlage | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 10.02.12 | Fund von elf radioaktiv kontaminierten Edelstahlschalen (Co-60, bis 4 kBq/g) auf einer Messe | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Gütern | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen |
| 15.02.12 | Fund eines Glasfläschchens mit Uran-Lösung (UPd3, 0,12 µSv/h an der Flasche) bei einer Universität | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 15.02.12 | Durchleuchtung eines Patienten mit einem falschen Betriebsmodus bei einer Herzkatheteruntersuchung in einem Klinikum | Verwechslung der Betriebsmodi durch dicht nebeneinander liegende Bedienpedale | Effektive Dosis für den Patienten: 700 mSv | Ermittlungen der zuständigen Behörde, Information an das BfArM, ärztliche Untersuchung des Patienten |
| 16.02.12 | Irrtümliche Entsorgung von zwei Schulpräparaten (Ra-226, 3,7 kBq bzw. 48,1 kBq) in einer Hochtemperaturverbrennungs-Anlage für gefährlichen Abfall | Unzulässige Entsorgung auf Grund von Unwissenheit | Keine | Konventionelle Entsorgung auf Grund einer irrtümlichen Annahme, Strahler waren bei Information der Aufsichtsbehörde bereits entsorgt, weitere Maßnahmen nicht mehr möglich |
| 22.02.12 | Fund einer radiaoktiv kontaminierten Absperrklappe (Ra-226, 20 kBq, und weitere natürliche radioaktive Stoffe) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.02.12 | Fund einer Füllstandsmesseinrichtung mit einer Strahlenquelle (Cs-137, 185 MBq) in einem Fahrzeug in einem Industriepark | Unzulässiger Betrieb ohne Genehmigung | Keine, da die Messeinrichtung nur in einem begrenzten Gebiet betrieben worden war | Vorübergehende Stilllegung des Fahrzeugs, Demontage und Verwertung der Quelle durch den Hersteller der Messeinrichtung |
| 01.03.12 | Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 100 MBq) bei Aufräumarbeiten in einer Firma | Unterlassene Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 02.03.12 | Fund von ca. 60 radioaktiv kontaminierten Schleifscheiben (U-238, ca. 1 Bq/g; U-235, ca. 0,05 Bq/g; Th-232, ca. 0,13 Bq/g) in einem Eisenbahnwaggon mit Metallschrott | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 02.03.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Ra-226, 90 µSv/h an der Oberfläche) in einem Haufwerk bei einer Metallrecyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 02.03.12 | Fund von mit radioaktiver Leuchtfarbe kontaminiertem Messingschrott aus der Uhrenproduktion (Ra-226, 60 kBq) bei der Eingangskontrolle in einem Metallhandelsbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung und vorübergehende Verwahrung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 07.03.12 | Fund einer Versuchsvorrichtung mit Thorium-Pulver im Schrott (Th-232, 2 µSv/h am Rohr) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | gering | Dekontamination und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 07.03.12 | Fund radioaktiver Stoffe (I-131, 920 Bq/g) bei der Eingangskontrolle in einem Metall-Recycling-Betrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 08.03.12 | Fund einer Neutronenquelle im Schrott (Am-241/Be, max. 4 GBq) bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung |
| 08.03.12 | Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 60 µSv/h an der Oberfläche) im Messingschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 19.03.12 | Fund von 15 Rohren mit radioaktiven Inkrustationen (Ra-226, ca. 7,9 Bq/g sowie Anteile von Th-232) im Schrott bei einer Recycling-Firma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 22.03.12 | Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott (Ra-226, 200 kBq und weitere natürliche radioaktive Stoffe) bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 28.03.12 | Fund einer radioaktiven Kontamination (Ra-226, ca. 6 kBq/cm$^2$) in einem Schrank bei einer Universität | Bei Freimessungen entdeckte, bislang unerkannte Kontamination in einem ehemals im Labor genutzten Schrank | Keine | Sperrung des Raumes, Sicherstellung der kontaminierten Gegenstände, strahlenmedizinische Untersuchungen an zwei betroffenen Personen |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 29.03.12 | Fund eines Strahlers im Schrott (Ra-226, 400 kBq) bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 04.04.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Fundstücks (Ra-226, 67 µSv/h an der Oberfläche) in einem Schrottcontainer bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 06.04.12 | Verlust von zwei Schulstrahlenquellen (Ra-226, gesamt 67 kBq) in einer Schule | Diebstahl radioaktiver Stoffe | Keine | Polizeiliche Ermittlungen |
| 06.04.12 | Fund von zwei Schulstrahlenquellen (Ra-226) auf einem Freigelände | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen |
| 16.04.12 | Fund von thoriumhaltiger Farbe (Th-232, 25 Bq; Th-230, 50 Bq) an einem Kleidungsstück bei einem Mitarbeiter einer kerntechnischen Einrichtung | Erwerb des mit Thoriumhaltiger Farbe behandelten Kleidungsstücks im Ausland | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Veranlassung einer Inkorporationsmessung, Information der ausländischen Behörde |
| 17.04.12 | Fund einer Röhrenlibelle mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 150 kBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.04.12 | Fund einer Metallhülse mit einem Strahler (Mn-54, 636 kBq) bei einem Industriekraftwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.04.12 | Fund eines Anzeigeinstrumentes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 240 kBq) bei der Eingangskontrolle einer thermischen Verwertungsanlage | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 27.04.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Gussteils (Th-232, 9 µSv/h an der Oberfläche) in importiertem Schrott bei einer Firma | Unzulässige Entsorgung im Ausland | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 03.05.12 | Fund von radioaktiv kontaminierten Edelstahl-Teedosen (Co-60, 45 µSv/h an der Oberfläche) beim Zollamt | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern | gering | Behördliche Prüfung noch nicht abgeschlossen |
| 10.05.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Ra-226, 43 Bq/g) bei der Eingangskontrolle in einem Entsorgungsbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 14.05.12 | Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Stahlrohren (Ra-226, 0,4 µSv/h im Rohr) bei einem Metallhändler | Unzulässige Entsorgung | Keine | Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 15.05.12 | Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 120 µSv/h an der Oberfläche) in Metallschrott aus Privathaushalten bei einem Metallrecyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.05.12 | Fund von 6 Metallzylindern (Co-60, 6 x 1 GBq) in einer Metallschrottanlieferung | Unzulässige Entsorgung | Vernachlässigbar gering | Übernahme durch Landessammelstelle |
| 23.05.12 | Fund, Abgabe eines Weckers und zweier Höhenmesser mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 355 kBq) bei einer Sammelstelle | Unbekannt | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.05.12 | Feststellung von radioaktiver Kontamination an Al/Be-Metallböcken (U-235, ca. 5 µSv/h an der Oberfläche) in einer Portalmessanlage | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern | Keine | Rücksendung an den ausländischen Absender |
| 06.06.12 | Fund von von 24 Radiumnadeln (Ra-226, 24 x 100 MBq) in einer Metallschrottanlieferung | Unzulässige Entsorgung | Vernachlässigbar gering | Übernahme durch Landessammelstelle |
| 06.06.12 | Fund eines Kompasses mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 20 kBq) in einem Päckchen beim Zollamt | Verstoß gegen Transportvorschriften | Keine | Vorübergehende Sicherstellung, weitere Beförderung als Gefahrgut an den ursprünglichen Empfänger |
| 18.06.12 | Fund eines Metallkegels mit einem Strahler (Ba-133, 100 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 25.06.12 | Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie | Verwechslung der Seiten | Applikation von nahezu der gesamten Dosis auf die falsche Seite | Information der Ärztlichen Stelle, Sicherstellung des Vier-Augen-Prinzips, Verbesserung der Qualitätskontrolle |
| 25.06.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Presslings (Ra-226, 400 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 25.06.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrs (Ra-226, 200 kBq; Th-232, 20 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.06.12 | Fund eines Anzeigegeräts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 27.06.12 | Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern bei Wartungsarbeiten | Einsatz von nicht autorisiertem Personal, unzulässige Entsorgung | Keine | Hinweis auf die Notwendigkeit des Einsatzes von autorisierten Personen bei Wartungsarbeiten |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 28.06.12 | Fund einer Messsonde mit einem Strahler (Cs-137, 47 MBq) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Max. Exposition: einige µSv | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 29.06.12 | Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 11 kBq) bei einem Schrotthändler | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| Juli 2012 | Erhöhte Exposition der Hände eines Mitarbeiters beim Umgang mit Strahlenquellen (Pm-147, 13 GBq) in einer Firma | Unbekannt | 892 mSv in einem Monat (Überschreitung des Jahresgrenzwertes von 500 mSv) | Tragen von Strahlenschutz-Handschuhen, Ärztliche Untersuchung des Mitarbeiters, behördliche Ermittlungen noch nicht abgeschlossen |
| 07.07.12 | Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 45 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 12.07.12 | Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 65 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 18.07.12 | Fund, Abgabe eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 2,3 MBq) bei einer Feuerwache | Unbekannt | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 19.07.12 | Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 400 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 22.07.12 | Fund eines Fläschchens mit Uranoxid an einer Schule | Unterlassene Kontrollen | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.07.12 | Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 600 kBq) in einem Privathaushalt | Unbekannt | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.07.12 | Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, ca. 370 kBq) in einem Privathaushalt | Unbekannt | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.07.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten kabelartigen Gegenstands (Ra-226, 3 MBq) im Mischschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 24.07.12 | Fund radioaktiv kontaminierter Abfälle (Tc-99m, 0,2 µSv/h in 1 m Abstand) bei einem Abfallverwerter | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.07.12 | Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 14,8 kBq) bei einer Firma | Unzulässige Entsorgung als Bauschutt bei Umbaumaßnahmen | Keine | Behördliche Ermittlungen |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 27.07.12 | Fund einer Quelle sowie von Resten eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 320 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.07.12 | Fund eines Keramikzylinders aus einem Radiumtrinkbecher (Ra-226, 204 µSv/h am Zylinder) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.07.12 | Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 5 MBq) im Schredderschrott bei einer Metallrecyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 31.07.12 | Verlust von 319 Ionisationsrauchmeldern (IRM) (Am-241, je nach Typ zwischen 14,8 kBq und 555 kBq die überwiegende Anzahl der IRM hat eine Aktivität von 29,6 kBq) im Zuge einer Brandschutzsanierung in einem Krankenhaus | Brandschutzsanierung zog sich über einen Zeitraum von 2004 bis 2010, nähere Angaben zum Verbleib der IRM konnten trotz umfangreicher Recherchen nicht ermittelt werden | nicht bekannt | Gegen die beauftragte Firma wurde ein Ordnungswidrigkeitsverfahren eingeleitet und ein Bußgeldbescheid erlassen |
| 09.08.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Edelstahlzylinders (Ra-226, 25 µSv/h an der Oberfläche) im Mischschrott bei einem Metallrecyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 11.08.12 | Fund einer Messvorrichtung mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 15 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Stahlfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 13.08.12 | Fehlbestrahlung eines Patienten in einer strahlentherapeutischen Einrichtung | Verwechselung von patientenspezifischen Einstellungen durch Änderung der Behandlungsreihenfolge | Keine radiologischen Folgen für den Patienten auf Grund der Ähnlichkeit der Behandlungspläne | Verbesserung der innerbetrieblichen Kommunikation |
| 13.08.12 | Fund eines Peilaufsatzes mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 35 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 14.08.12 | Fund von acht Kalibrierquellen (Cs-137, je 370 kBq) für Dosimeter bei Aufräumarbeiten in einem Gebäude | Unterlassene Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 22.08.12 | Anlieferung eines Prostataresektats mit implantierten I-125-Seeds zur Präparation und Untersuchung an einem Pathologischen Institut ohne expliziten Hinweis auf die Radioaktivität der Probe in den Begleitpapieren | Verstoß gegen Transportvorschriften | gering | Information aller Genehmigungsinhaber für Seeds über die Problematik bei der Entnahme von Prostatagewebe bei Patienten mit implantierten I-125-Seeds und dessen Weitergabe zur pathologischen Untersuchung |
| 27.08.12 | Fund einer Strahlenquelle (Ra-226, 100 MBq) in einer Schrottlieferung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 28.08.12 | Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie über mehrere Fraktionen | Falsche Festlegung des ZielvoIumens | Bewertung noch nicht abgeschlossen | Information der Ärztlichen Stelle, Verfahren noch nicht abgeschlossen |
| 31.08.12 | Fund von fünf radioaktiv kontaminierten Relais (Ra-226, 5 x 55 kBq) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 03.09.12 | Fund einer Stahlröhre mit thorierten Linsen (Th-232, 200 kBq) bei einem Metallverwertungsunternehmen | Unzulässige Entsorgung | Keine | Separierung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 07.09.12 | Fund einer Vereisungsmeldeeinrichtung mit einer Strahlenquelle (Sr-90, 925 MBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallrecyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 10.09.12 | Fund eines Radium-Emanations-Apparats (Ra-226, 54 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 11.09.12 | Verlust von 82 Ionisations-rauchmeldern (Am-241, je 5 kBq) vom Gelände einer Elektrofirma | Diebstahl radioaktiver Stoffe | Unbekannt | Polizeiliche Ermittlungen |
| 12.09.12 | Fund von zwei radioaktiv kontaminierten Edelstahlherzen (Co-60, 63 µSv/h an der Oberfläche) in einem Container beim Zollamt | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv kontaminierten Gütern | Keine | Separierung und Rückführung in das Ursprungsland |
| 12.09.12 | Fund von zwei Teilen eines Vergrößerungsapparates mit radioaktiven Leuchtfarben (Ra-226, ca. 10 µSv/h an der Oberfläche) auf einem Schrottplatz | Unzulässige Entsorgung | Keine | Lagerung in der Landessammelstelle, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 19.09.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Teils eines Pfluges (Co-60, 2 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 26.09.12 | Fund von sechs radioaktiv kontaminierten Gartenfackeln (Co-60, bis 5 kBq/g) bei Händlern und Endverbrauchern | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Verbrauchsgütern | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.09.12 | Fund von radioaktiv kontaminierten Gartenfackeln (Co-60, je ca. 350 Bq bis 875 kBq) nach Einfuhr und Weiterverkauf durch eine Firma mit Sitz in NRW | Unbekannt | Keine | Sicherstellung und Rücktransport der überwiegenden Anzahl der nach Bayern gelieferten Fackeln |
| 27.09.12 | Fund von zwei Gegenständen aus radioaktiv kontaminiertem Edelstahl (Co-60, ca. 100 µSv/h an der Oberfläche) bei einem Einzelhändler | Unzulässiger Import von im Ausland radioaktiv verunreinigten Verbrauchsgütern | Keine | Rückgabe und Entsorgung über den Importeur |
| 28.09.12 | Fund von radioaktiv kontaminierten Gegenständen (natürliches Thorium; natürliches Uran) bei einem Schrotthandelsbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Verfahren noch nicht abgeschlossen |
| 28.09.12 | Fund eines Prüfstrahlers (Ra-226, 2,22 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 05.10.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Objektivs (Th-232, 8,5 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 05.10.12 | Fund eines Ziffernblatts mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 60 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 08.10.12 | Fund von radioaktiv kontaminierten Teilen eines Metallfasses (Ra-226, 0,2 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Entsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 11.10.12 | Fund eines Teils eines radioaktiven Blitzableiters (Ra-226, 19 MBq) in importiertem Schrott bei einer Metallrecyclingfirma | Unzulässige Entsorgung im Ausland | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Verbesserung der künftigen Verfahrensweise |
| 15.10.12 | Fund von zwei Messgeräten mit integrierten Prüfstrahlern (Cs-137, 10 µSv/h an der Oberfläche) in einer Bundesbehörde | Unterlassene Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 16.10.12 | Beschädigung einer Troxlersonde (Cs-137, 300 MBq) durch eine Walze bei Straßenbauarbeiten | Unfall mit tödlichen Verletzungen eines Messingenieurs | Troxlersonde nur äußerlich beschädigt, Kontaminationsfreiheit durch Messung bestätigt | Unbekannt |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 18.10.12 | Kontamination der linken Hand einer MTRA bei der Vorbereitung einer SIRT-Behandlung | Unbekannt | Handdosis 528 mSv (Überschreitung des zulässigen Jahresgrenzwerts von 500 mSv) | Dekontamination der Räume und Personen, Einführung des Tragens von Überschuhen und Doppelhandschuhen, Installation eines zusätzlichen Handmonitors |
| 23.10.12 | Fund eines radioaktiven Gammaradiographie-Arbeitsbehälters (abgereichertes Uran, ca. 2 µSv/h an der Oberfläche) ohne radioaktive Quelle auf einem Schrottplatz | Unzulässige Entsorgung | Keine | Lagerung in der Landessammelstelle |
| 25.10.12 | Unzulässige Exposition des Personals bei einer medizinischen Beschleunigeranlage | Aufenthalt des Personals im Bestrahlungsraum beim Einschalten der Anlage | Keine | Nachrüstung eines Patientenschutzsystems |
| 29.10.12 | Fund einer Messanzeige mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 200 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 01.11.12 | Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie über mehrere Fraktionen | Falsche Festlegung des ZielvoIumens | Bewertung noch nicht abgeschlossen | Information der Ärztlichen Stelle, Änderung der Bestrahlungsplanung, Bewertung noch nicht abgeschlossen |
| 01.11.12 | Fund eines Erzbrockens mit radioaktiven Stoffen (Ra-226, 8 µSv/h am Fundstück) bei einem Kraftwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 05.11.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Blechstreifens (Ra-226, 4 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 13.11.12 | Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 1 MBq) bei einer Müllverbrennungsanlage | Unzulässige Entsorgung | Keine | Zwischenlagerung und ordnungsgemäße Entsorgung, erneute Strahlenschutzunterweisung aller Beschäftigten beim Verursacher |
| 14.11.12 | Fehlbestrahlung eines Patienten in der Teletherapie bei einer Fraktion | Verwechslung durch Planänderung ohne erneute Verifikation des Patienten | Sehr gering, da nahezu gleiche Zieldosis bei beiden Patienten | Information der Ärztlichen Stelle, Verbesserung der Patientenidentifizierung, Verfahren noch nicht abgeschlossen |
| 23.11.12 | Fund einer Radium- Trink- und Badekurapparatur (Ra-226, 500 kBq) in einem Recyclingbetrieb | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |

noch Tabelle III.3-1

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

| Datum | Vorkommnis | Ursache | Radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 24.11.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Rohrstücks (Ra-226, 224 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 27.11.12 | Feststellung einer radioaktiven Kontamination eines Containers (0,1 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma | Unbekannt, mögliche Ursache: Konstruktion des Containers unter Verwendung von Rohren mit radioaktiven Verunreinigungen | Keine bei bisheriger Handhabung des Containers | Rückgabe des Containers und Information an den Besitzer |
| 28.11.12 | Feststellung einer unzulässig erhöhten Dosisleistung von 33 mSv/h an einem Gefahrgutversandstück mit Strahlern (5 Stck. Cs-137, gesamt 53,65 GBq) an einem Flughafen | Herausfallen eines Strahlers aus dem Abschirmbehälter im Inneren des Versandstücks durch unsachgemäße Transportverpackung | 20 und 23 µSv Personendosis für 2 Mitarbeiter der Empfängerfirma | Rückführung des Strahlers in den Abschirmbehälter und zusätzliche Verpackung in ein Metallfass durch Empfängerfirma, Verbringung zum Empfänger; polizeiliche Ermittlungen |
| 29.11.12 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Teils (Ra-226, 100 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 08.12.12 | Fund einer radioaktiv kontaminierten Halterung (Ra-226, 100 kBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 10.12.12 | Fehlbestrahlung infolge Verwechslung des rechten und linken Oberschenkels, Fehler ist direkt nach der ersten von insgesamt 16 Bestrahlungen aufgefallen | Allgemeines menschliches Versagen | Patient erhielt eine um 1/16 höhere Dosis als geplant | Es wurden Vorkehrungen getroffen, um eine Wiederholung ausschließen zu können |
| 12.12.12 | Fund eines Blitzableiters mit neun Strahlern (Ra-226, 15 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 18.12.12 | Fund einer Strahlenquelle (Ra-226, 1,4 MBq) bei der Eingangskontrolle einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |

## IV. Medizinische Strahlenexposition

Medizinische Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe haben sowohl bei Diagnostik als auch bei Therapie einen hohen Stand erreicht. Sowohl bei der Indikationsstellung als auch bei der Durchführung werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Notwendige Voraussetzung, um ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe anzuwenden bzw. entsprechende Untersuchungen am Menschen durchzuführen, ist die Fachkunde im Strahlenschutz. Nach der StrlSchVund der RöV muss jede Strahlenanwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Diese "rechtfertigende Indikation" erfordert die Feststellung durch den fachkundigen Arzt bzw. die fachkundige Ärztin, dass für den individuellen Patienten der gesundheitliche Nutzen der Anwendung das Strahlenrisiko überwiegt. Darüber hinaus ist die durch die medizinische Anwendung bedingte Strahlenexposition soweit zu reduzieren, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe der gewünschte medizinische Effekt ebenfalls erzielt werden kann.

Nach Einschätzung des BfS wird die rechtfertigende Indikation aus verschiedenen Gründen leider nicht immer so restriktiv gestellt, wie dies sowohl unter strahlenhygieni-

schen als auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten notwendig ist. Daher erfolgt nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS). Von der Strahlenschutzkommission wurde gemeinsam mit den medizinischen Fachgesellschaften eine Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen erarbeitet, die 2006 erstmals und 2008 in aktualisierter Form veröffentlicht wurde[11]. Diese Orientierungshilfe richtet sich in erster Linie an die überweisenden Ärzte. Sie soll dazu beitragen, die für die jeweilige Fragestellung bestgeeigneten radiologischen und nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren auszuwählen. Die Kriterien der Orientierungshilfe ersetzen nicht das Stellen der rechtfertigenden Indikation.

Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind in der Nuklearmedizin wie auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ärztlichen Stellen Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungerechtfertigt über den DRW liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und beseitigen zu können.

## 1. Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt seit Anfang der 1990er Jahre im Auftrag des BMU Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Seit 2002 ist die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenbelastung der Bevölkerung gemäß RöV Amtsaufgabe des BfS.

Ärztliche Leistungen werden über spezielle Gebührenziffern abgerechnet, die die medizinischen Leistungen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschreiben. Da ca. 98% der deutschen Bevölkerung gesetzlich oder privat krankenversichert sind, kann die Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen gut mithilfe dieser Gebührenziffern abgeschätzt werden. Diese werden dem BfS von den Kostenträgern (d.h. der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung sowie dem Verband der privaten Krankenversicherung) zur Verfügung gestellt. Es besteht ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS.

Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2011. Für die Analyse der Daten wird ein standardisiertes Verfahren eingesetzt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich ist. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

Für die Auswertung werden aktuelle Erhebungen zur Untersuchungspraxis bei der Computertomographie in Deutschland sowie die Ergebnisse vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich, Erhebung zur Differenzierung von nicht eindeutig definierten Gebührenziffern) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch den Zugewinn neuer Erkenntnisse erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich vereinfachende und teilweise sehr konservative Annahmen nunmehr sukzessive durch realistischere Schätzungen ersetzt wurden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten geringfügig abweichende Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

In Tabelle IV.1-1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren größtenteils auf Dosiswerten, die von den ärztlichen Stellen für die Jahre 2007 bis 2009 an das BfS übermittelt wurden, jedoch auch auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen, auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, und auf Literaturangaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist demnach mit einer relativ niedrigen Strahlenbelastung verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden („konventionelle Röntgenaufnahmen“). Dabei wird für den Bruchteil einer Sekunde Röntgenstrahlung auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen (z.B. des Herzens) oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen (z.B. des Magen-Darm-Traktes) ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm eine Bildserie, die mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Monitor übertragen und dort betrachtet wird. Dieses Untersuchungsverfahren wird auch für angiographische Untersuchungen (Gefäßuntersuchungen) und interventionelle Maßnahmen genutzt. Bei Letzteren werden unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, wie z. B. die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt. Bei Röntgendurchleuchtungen ist die Strahlendosis für den Patienten im Vergleich zu einer konventionellen Röntgenaufnahme zum Teil deutlich höher.

Die CT ist ein Schnittbildverfahren der Röntgendiagnostik, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotieren und eine Vielzahl von Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen (Projektionen) erzeugen. Aus diesen Projektionsbildern werden mithilfe eines Computerprogramms überlagerungsfreie

[11] SSK, Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, Berichte der SSK, Heft 51 (CD), Bonn 2007

Tabelle IV.1-1

**Typische Werte für die effektive Dosis häufig durchgeführter Röntgenuntersuchungen**

| Untersuchungsart | effektive Dosis E [mSv] |
|---|---|
| **Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen** | |
| Zahnaufnahme | ≤ 0,01 |
| Extremitäten (Gliedmaßen) | < 0,01 - 0,1 |
| Schädelaufnahme a.p. | 0,03 - 0,06 |
| Halswirbelsäule in 2 Ebenen | 0,1 - 0,2 |
| Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme | 0,02 - 0,04 |
| Mammographie beidseits in je 2 Ebenen | 0,2 -0,4 |
| Brustwirbelsäule in 2 Ebenen | 0,2 - 0,5 |
| Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen | 0,6 - 1,1 |
| Beckenübersicht | 0,3 - 0,7 |
| Bauchraum (Abdomenübersicht) | 0,3 - 0,7 |
| **Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung** | |
| Magen | 4 - 8 |
| Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf) | 5 - 12 |
| Koronarangiographie | 4 - 7 |
| PTCA* | 6 - 16 |
| Bein-Becken-Phlebographie (ein Bein) | 0,3 - 0,7 |
| Bein-Becken-Arteriographie | 5 - 9 |
| **CT-Untersuchungen†** | |
| Hirnschädel | 1,7 - 2,3 |
| Lendenwirbelsäule | 4,8 - 8,7 |
| Brustkorb (Thorax) | 4,2 - 6,7 |
| Bauchraum (Abdomen) | 8,8 - 16,4 |

* Perkutane transluminale koronare Angiographie zur Herzkranzgefäß-Erweiterung

† typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Querschnittsbilder erzeugt. Diese mit einer relativ hohen Strahlenbelastung verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit keinem anderen Röntgenverfahren erreicht wird. Auf Grund der relativ hohen Strahlendosis (vgl. Tabelle IV.1-1) ist hier jedoch eine besonders strenge Indikationsstellung, d. h. eine sorgfältige Abwägung zwischen Nutzen und Risiko für den Patienten durch den anwendenden Arzt erforderlich.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsarten – wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – ermittelt. Dabei wird über den betrachteten Zeitraum bis einschließlich 2006 für konventionelle Röntgenuntersuchungen jeweils eine konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart angenommen. Ab 2007 fließen in die Abschätzung Dosiswerte ein, die für häufige und / oder dosisintensive Röntgenuntersuchungen von den ärztlichen Stellen für den aktuellen Zeitraum regelmäßig zum Zweck der Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte an das BfS übermittelt werden.

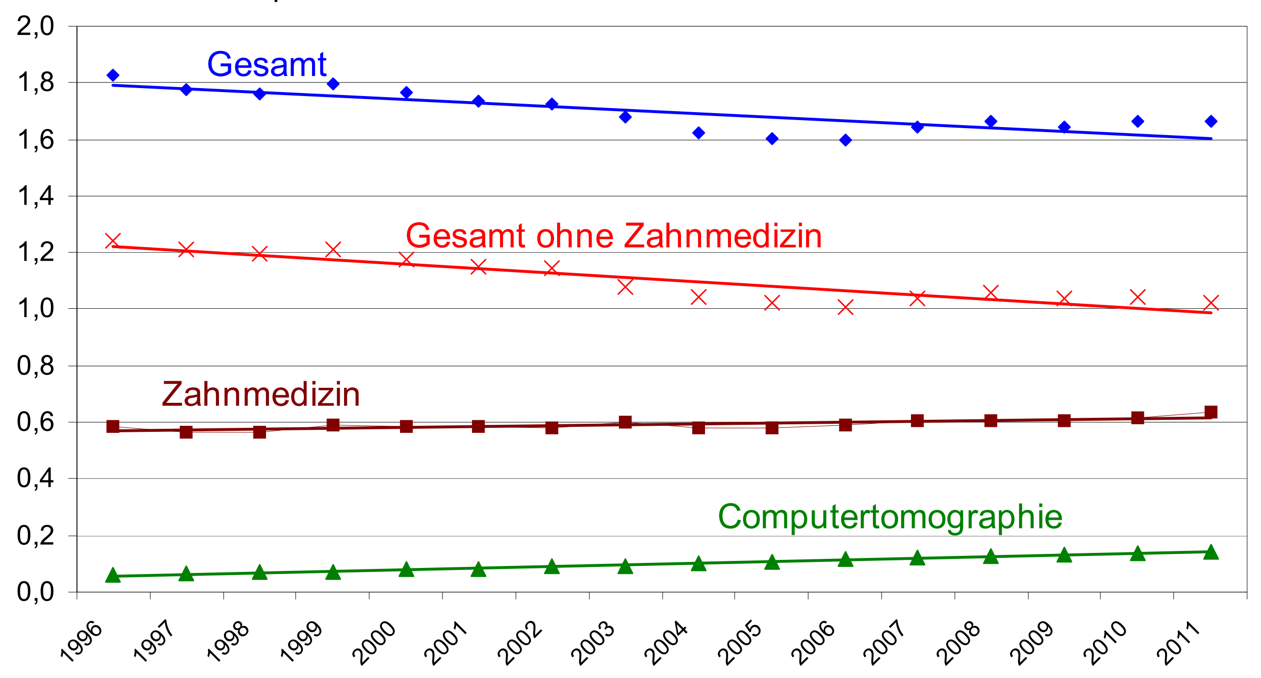
**Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996 bis 2011**

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität (konventionelle Röntgenuntersuchung, Durchleuchtung, CT) notwendig sind. So wird z.B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Das statistische Bundesamt hat für 2011 zwei Bevölkerungszahlen veröffentlicht, eine auf Basis des neuen

Abbildung IV.1-1

**Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland**




In die Schätzung für 2011 geht – wie für die Jahre davor –
die Bevölkerungszahl auf Grundlage der Volkszählung 1987 (81,8 Mio.) ein

Zensus 2011 (80,3 Mio.) und eine - so wie in den Jahren davor - auf der Grundlage der Volkszählung 1987 (81,8 Mio.). Aus Gründen der Vergleichbarkeit (Zeitreihen) wird im Folgenden und in den Abbildungen die fortgeschriebene Bevölkerungszahl auf der Grundlage der Volkszählung von 1987 verwendet.

Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland nahm während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2011 insgesamt ab. Für die Jahre 2007 bis 2011 sind die Werte gegenüber 2006 leicht erhöht. Dies ist im Wesentlichen auf die Einführung des Mammographie-Screening-Programms (MSP) in Deutschland und der damit einhergehenden - seit 2007 recht deutlichen - Zunahme der Mammographien im ambulanten kassenärztlichen Bereich zurückzuführen. Ohne Mammographien aus dem MSP - einseitig gezählt - läge der Wert für 2011 etwa 4% niedriger und damit unterhalb des Wertes für 2006. Der Wert für die Gesamthäufigkeit für das Jahr 2011 liegt bei etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner (siehe Abbildung IV.1-1)[12]. Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik beläuft sich nahezu konstant auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr, was im Mittel einem Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen entspricht. Trotz gleichbleibender Anzahl zahnmedizinischer Untersuchungen hat wegen des abnehmenden Trends der Untersuchungshäufigkeit der restlichen Röntgenuntersuchungen über den Zeitraum 1996 bis 2011 der Beitrag der zahnmedizinischen Röntgendiagnostik zur Gesamthäufigkeit von 32% im Jahr 1996 auf 38% im Jahr 2011 zugenommen. Neben den zahnmedizinischen Untersuchungen entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d.h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Brustkorb (Thorax, vergleiche auch Abbildung IV.1-4).

In der Trendanalyse ist am auffälligsten die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 1996 und 2011 mehr als verdoppelt (Zunahme um etwa 130%, siehe Abbildung IV.1-1 und IV.1-2). Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, etwa Verfünffachung der Untersuchungs-Anzahl über den Zeitraum 1996 bis 2011, siehe Abbildung IV.1-2). Welches der beiden Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, hängt von der diagnostischen Fragestellung, der klinischen Situation (Notfall) und natürlich auch der Verfügbarkeit ab.

[12] Die Schätzung für die Gesamthäufigkeit auf Basis der fortgeschriebenen Bevölkerungszahl beträgt 1,66 und auf Basis des neuen Zensus 1,69 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr.

Abbildung IV.1-2

**Vergleich der Häufigkeit von CT- und MRT-Untersuchungen in Deutschland**

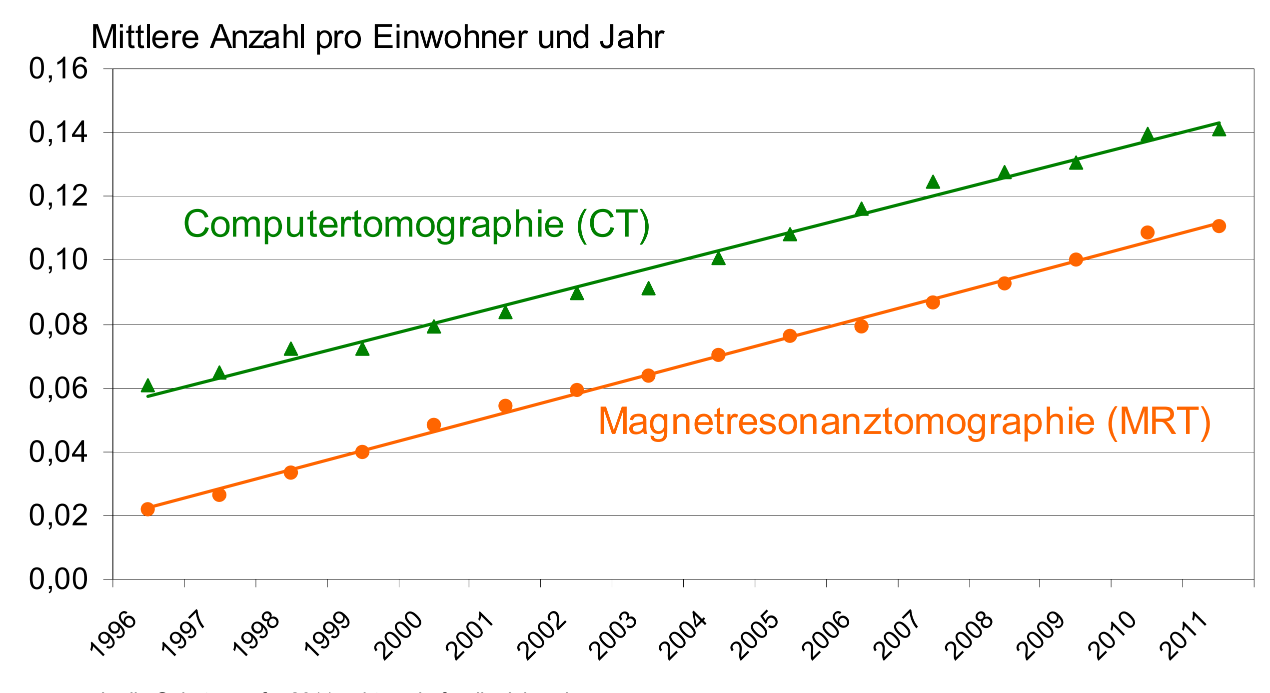



Abbildung IV.1-3

**Mittlere effektive Dosis durch Röntgenuntersuchungen mit und ohne CT sowie Dosis durch CT pro Einwohner und Jahr (mSv)**

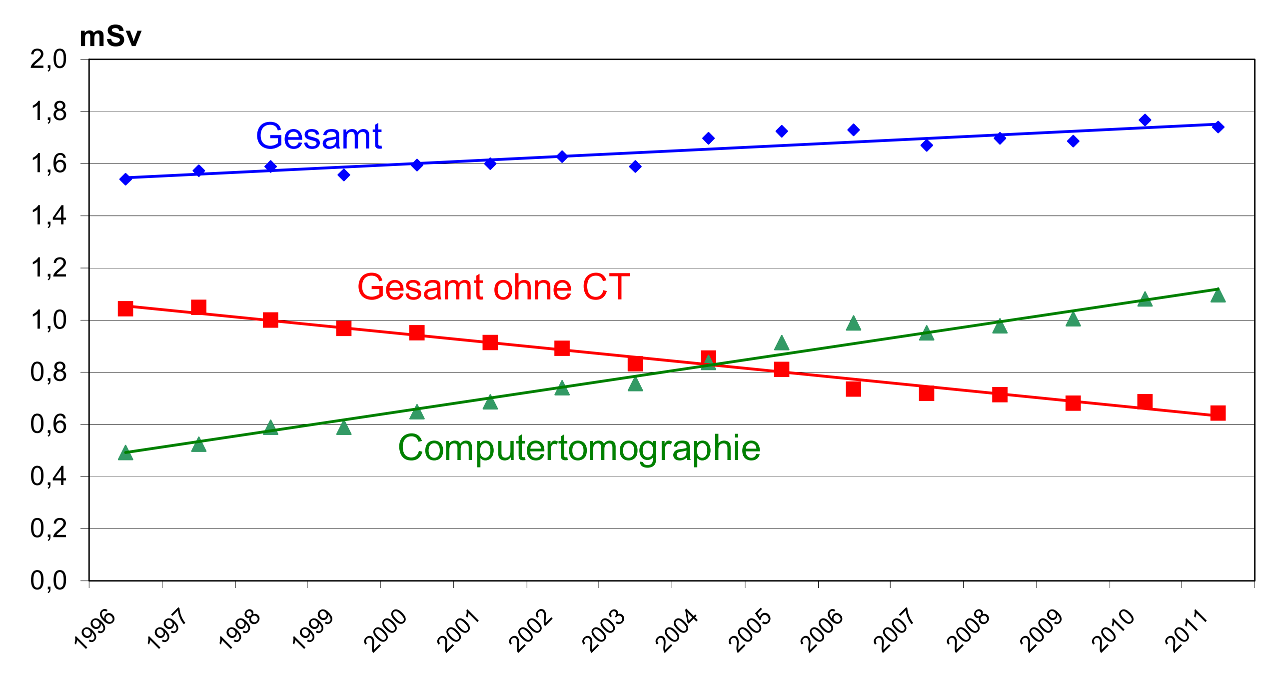
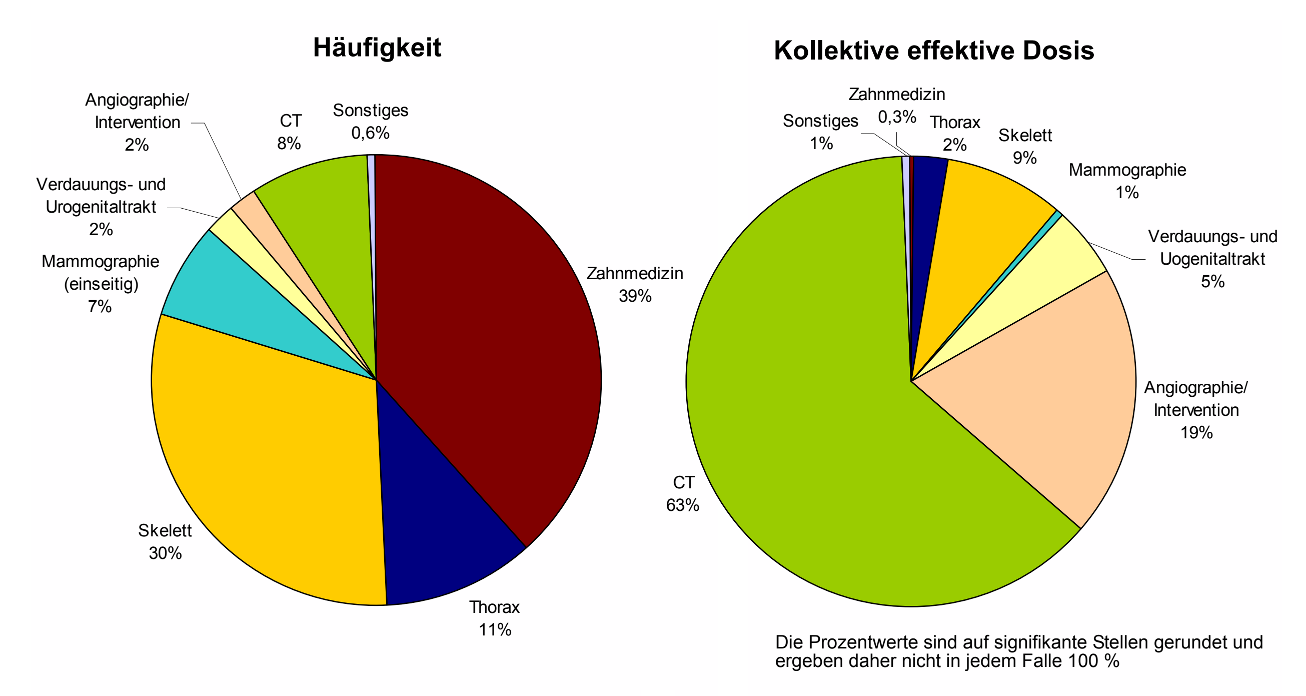


Abbildung IV.1-4

**Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2011**




Im Gegensatz zur CT-Häufigkeit hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 50%), des Thorax (um ca. 40%, der Wirbelsäule (um ca. 30%) und des Bauchraumes einschließlich des Verdauungs- und des Urogenitaltrakts (um ca. 60%) im Zeitraum 1996 bis 2011 abgenommen.

Die mittlere effektive Dosis aus Röntgenuntersuchungen pro Einwohner in Deutschland beläuft sich für das Jahr 2011 auf ca. 1,7 mSv[13]. Über den Beobachtungszeitraum 1996 bis 2011 ist insgesamt ein ansteigender Trend für die mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen (siehe Abbildung IV.1-3). Dieser Trend ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit und der damit einhergehenden Zunahme der effektiven Dosis pro Kopf bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2011 deutlich - um mehr als ein Drittel - ab (siehe Abbildung IV.1-3).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) tragen nur etwa 10% zur Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der aus allen Röntgenuntersuchungen resultierenden kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2011 jedoch mehr als 80% (siehe Abbildung IV.1-4).

[13] Die Schätzung beträgt 1,74 mSv auf Basis der fortgeschriebenen Bebölkerungszahl (gerundet 1,7 mSv) bzw. 1,77 mSv auf Basis des neuen Zensus (gerundet 1,8 mSv) pro Einwohner und Jahr.

**Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)**

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit wird jährlich bei etwa 72 000 Frauen eine Brustkrebsdiagnose[14] gestellt, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 65 Jahren liegt. Im Jahr 2010 verstarben insgesamt etwa 17 500 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Damit war Brustkrebs die vierthäufigste Todesursache bei Frauen. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen. Die effektivste Methode zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren ist gegenwärtig die Röntgenuntersuchung der Brust (Mammographie).

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.6.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings auf der Grundlage der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen zu schaffen.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms (MSP) waren zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten: Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im enge-

[14] Krebs in Deutschland 2007-2008. Häufigkeiten und Trends. 8. Ausgabe. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.), Berlin 2012

ren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Absatz 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Diese Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall (rechtfertigende Indikation). Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Mammographie-Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der rasante technische Fortschritt machte jedoch die Einbeziehung digitaler Verfahren erforderlich, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat das BfS zusammen mit der Strahlenschutzkommission die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie im Deutschen Institut für Normung eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

Zur schrittweisen Einführung des Programms wurde 2003 die Kooperationsgemeinschaft Mammographie (KoopG) (http://www.mammo-programm.de) gegründet. Im Jahr 2005 wurde die erste Screening-Einheit (SE) zertifiziert und konnte ihren Betrieb aufnehmen; 2009 hat die letzte der insgesamt 94 SE ihren Betrieb aufgenommen. Zielgruppe des MSP sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind 10,4 Mio Frauen. Ende 2009 lag die Teilnahmerate bei 54,5%.

Nehmen 70% der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter der Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Jahresdosis auf etwa 1800 Personen-Sv pro Jahr. Dies entspricht weniger als 1,5% der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Wie bereits erwähnt, spielen Screening-Mammographien bei der in Abbildung IV.1-4 dargestellten Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen zunehmend eine Rolle. Dies schlägt sich jedoch - auf Grund der vergleichsweise niedrigen Dosis pro Untersuchung - in den Abbildungen zur Dosis (IV.1-3 und IV.1-4 rechts) kaum nieder. In den in Abbildung IV.1-4 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zu etwa 40% Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die zur Abklärung eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die außerhalb des MSP und damit ohne die hier gültige Qualitätssicherung durchgeführt wurden („graues Screening“). Entgegen der Erwartung hat die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen nach Einführung des MSP verhältnismäßig wenig abgenommen (Abnahme zwischen 2006 und 2011 um ca. 34% nach Daten der KBV bzw. um ca. 23% bei Berücksichtigung der PKV-Daten).

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und dem Spitzenverband Bund der Krankenkassen bzw. dem GKV-Spitzenverband für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Übergeordnetes Ziel des MSP ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebs-Mortalität. Im Jahr 2010 wurden vom BMU in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung dieses komplexen Projektes beteiligen sich das BMU, das BMG sowie die Träger des M-SP. Die Geldgeber sowie das BfS, das RKI, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Evaluation des deutschen MSP. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die Mortalitätsevaluation ist Gegenstand eines UFOPLAN-Forschungsvorhabes. Dieses begann im Juli 2012 zunächst mit einer zweijährigen Machbarkeitsstudie. Insgesamt ist das Vorhaben auf 10 Jahre ausgelegt.

## 2. Nuklearmedizinische Diagnostik

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen vorübergehend anreichern. Sie sind auf

Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messverfahren, z.B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten, bildgebenden Diagnostik. Eine herausragende Rolle nimmt hier auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit das Nuklid Technecium 99m ein.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z.B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen. Die PET hat – insbesondere auch in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert.

Die Ergebnisse der aktuellen Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von nuklearmedizinischen Untersuchungen beziehen sich auf den Fünfjahres-Zeitraum 2007 bis 2011. In die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis und deren Bewertung fließen die Resultate eines kürzlich abgeschlossenen UFOPLAN-Vorhabens ein („Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren“) sowie aktuelle Literatur[15]. Pro Jahr wurden 2007-2011 in Deutschland im Mittel ca. 2,9 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 35,7 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht[16]. Für den betrachteten Zeitraum besteht ein leicht abnehmender Trend für die Häufigkeit von nuklearmedizinischen Untersuchungen. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung IV.2-1). Bei dieser Abbildung ist zu beachten, dass die szintigraphischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung einzeln gezählt wurden, auch wenn diese meistens im Rahmen einer Untersuchung hintereinander (während eines Tages oder über zwei Tage) stattfinden.

Es wurde eine über den Zeitraum 2007 bis 2011 gemittelte kollektive effektive Dosis von ca. 7100 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr entspricht. Rund 80% der kollektiven effektiven Dosis werden durch die Skelett-, die Myokard-(Herz-) und die Schilddrüsenszintigraphie verursacht (Abbildung IV.2-1).

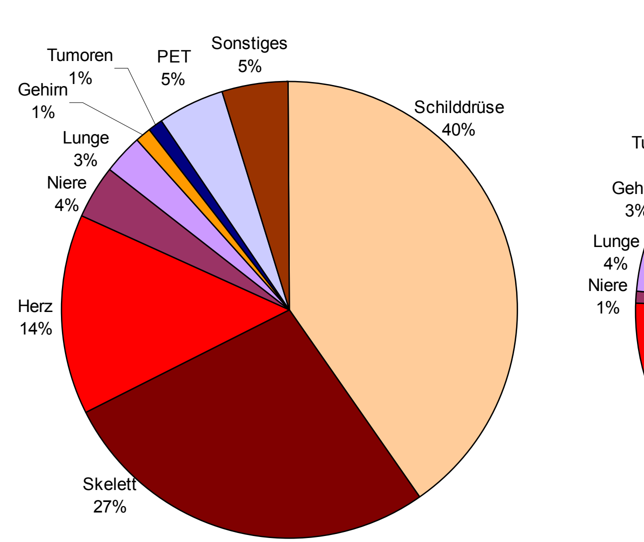
Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungs- und Gehirnszin-

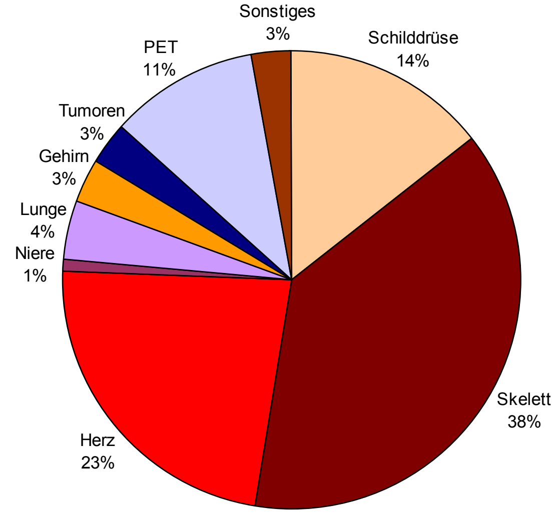
[15] Kotzerke J, Oehme L, Lindner O, Hellwig D; Arbeitsausschuss PET der DGN: Positron Emissions Tomographie 2008 in Deutschland – Ergebnisse einer Umfrage und aktuelle Sachlage. Nuklearmedizin 49: 58-64, 2010; Hellwig D, Grgic A, Kotzerke J, Kirsch C-M: Nuklearmedizin in Deutschland – Kennzahlen aus offiziellen Statistiken. Nuklearmedizin 50: 53-67, 2011

[16] Auf Basis der Bevölkerungszahl gemäß Zensus von 2011 und entsprechend extrapolierter Bevölkerungszahlen für 2007 bis 2010 beträgt die Schätzung 36,4 Untersuchungen pro 1000 Einwohner und Jahr.

Abbildung IV.2-1

**Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland im Jahr 2011**



tigraphien (jeweils 7,7 mSv pro Untersuchung) am höchsten. Fasst man die Dosis durch Herzszintigraphien in Ruhe und unter Belastung zusammen, so erhält man ebenfalls eine vergleichsweise hohe Dosis von 8 mSv pro Untersuchung. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,9 mSv pro Untersuchung auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,4 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,8 mSv pro Person im Jahr 2010) ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z.B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch mit Tc-99m markierte Verbindungen zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.

## 3. Therapie mit ionisierender Strahlung

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird für das Jahr 2012 auf ca. 258000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 228000 bei Frauen prognostiziert[14]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer wie für Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie einer Krebserkrankung erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Bei der Strahlentherapie wird eine möglichst hohe Strahlendosis in einem definierten Körperbereich („Zielvolumen“) verabreicht, um das Tumorgewebe zu zerstören. Gleichzeitig soll das benachbarte gesunde Gewebe so weit wie möglich geschont werden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten bei der individuellen Therapieplanung und Medizinphysik-Experten. Ständige Qualitätssicherung und -kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie deren interdisziplinärer Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Wichtige technische Entwicklungen der letzten Zeit, wie z.B. die individuell optimierte Bestrahlungsplanung auf Basis dreidimensionaler Bilddatensätze, erlauben es, die zu verabreichende Strahlentherapiedosis immer besser auf das Zielvolumen zu konzentrieren. Dadurch ist inzwischen auch die hochdosierte Bestrahlung ungleichmäßig geformter Tumoren in enger Nachbarschaft zu wichtigen gesunden Organen mit guter Verträglichkeit möglich.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Bestrahlungsart ist die in Linearbeschleunigern erzeugte, von außen durch die Haut des Patienten verabreichte Photonenstrahlung.

Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass mit Röntgenstrahlen eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht werden kann. Die Therapie mit Röntgenstrahlen wird daher fast nur noch zur Behandlung von Hauttumoren sowie von entzündlichen oder degenerativen Erkrankungen an Gelenken und am Bandapparat eingesetzt.

Bei der Brachytherapie erfolgt die Bestrahlung mithilfe einer Strahlenquelle, die innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Organs oder Gewebes im Körper des Patienten platziert wird. Ein typisches Anwendungsgebiet der Brachytherapie ist z.B. die Behandlung von Prostatakarzinomen.

In zunehmendem Maße kommt an neu errichteten Zentren auch Teilchenstrahlung (Protonen, Schwerionen) zum Einsatz, deren physikalische Eigenschaften eine Schonung gesunden Körpergewebes erwarten lassen. Hinsichtlich des resultierenden Nutzen-Risiko-Verhältnisses wird sie derzeit im Rahmen klinischer Studien bewertet.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [17] wurden im Jahr 2012 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,2 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung, geschätzt etwa 102 000 Krebsneuerkrankungen im Jahr 2012) etwa 67555 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12% dieser Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung strahlentherapiert. Somit wurde in etwa 58% der Krebsfälle eine Strahlentherapie durchgeführt. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhielten im Jahr 2012 etwa 322000 Patienten eine Strahlentherapie, davon ca. 283 000 wegen einer bösartigen Erkrankung. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Strahlentherapien stetig zu, in den zehn Jahren zwischen 2003 und 2012 ist die Anzahl der Patienten um 39% gestiegen.

## 4. Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Das bekannteste Beispiel ist das Radionuklid Jod-131, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z.B. Schilddrüsenzellen, die übermäßig Schilddrüsenhormone produzieren, oder Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland etwa 45000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h.

[17] Brodersen HJ: Strahlentherapie in Norddeutschland 2012/13 Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 19. Auflage, 21. März 2013, www.strahlentherapie-nord.de

die Behandlung spezieller Gelenkserkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen (Ziel: Schmerzlinderung bei nicht heilbarer Erkrankung). Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören (z.B. bei Lymphomen).

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der radiologischen/nuklearmedizinischen Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, eine therapeutische Strahlenexposition zu bewerten.

## 5. Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch zu berücksichtigen, dass auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata sehr verschieden und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind.

Bereits im Jahr 2000 lag in den USA und in Japan allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für alle in Deutschland durchgeführten diagnostischen Röntgenleistungen. Im Jahr 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf aus Röntgen- sowie nuklearmedizinischer Diagnostik in den USA 3 mSv, wobei die CT bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen etwa die Hälfte bzw. ein Viertel beitrugen[18].

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 die mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe DOSE DATAMED gebildet, wobei Deutschland durch das BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den zehn teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. In allen zehn DOSE-DATAMED-Ländern tragen Computertomographien, Angiographien und Interventionen den größten Teil zur kollektiven effektiven Dosis bei. Für alle Röntgenuntersuchungen zusammen genommen (ohne Zahnmedizin) unterscheiden sich die Länder bezüglich der Häufigkeit maximal um den Faktor 2,5 und bezüglich der kollektiven effektiven Dosis maximal um den Faktor 4,5 mit den höchsten Schätzwerten für Belgien, Deutschland und Luxemburg und den niedrigsten für Dänemark, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede bei der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen und der zugehörigen kollektiven effektiven Dosis, die in den zehn Ländern beobachtet wurden, wurden von der DOSE-DATAMED-Gruppe als real eingeschätzt. Die Unterschiede sind sehr viel größer als die statistischen Unsicherheiten, die unvermeidbar mit jeder Datenerhebung und -analyse einhergehen. Die Unterschiede können zum großen Teil auf die verschiedenartigen Gesundheitssysteme der betrachteten Staaten zurückgeführt werden. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt und auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht[19]. Im Jahr 2010 wurde ein EU-Folge-Projekt zu DOSE DATAMED – DOSE DATAMED 2 – initiiert, das zum Ziel hatte, die Datenbasis um weitere europäische Länder zu erweitern sowie den alten Datenbestand zu aktualisieren. Die vorläufigen Ergebnisse wurden im Januar 2013 auf der Dose datamed2-Internetseite (www.ddmed.eu) veröffentlicht und ermöglichen einen umfassenden Vergleich auf europäischer Ebene. Das Dose Datamed 2-Projekt liefert Schätzungen für die Strahlenexposition der Bevölkerung in Europa infolge strahlendiagnostischer Maßnahmen auf Basis einer umfangreichen Datensammlung von 36 europäischen Ländern. Werden alle 27 EU-Länder sowie die drei EFTA-Länder Norwegen, Island und die Schweiz als Gruppe betrachtet, so lauten die Schätzungen für die mittlere effektive Dosis infolge von Röntgenmaßnahmen beziehungsweise nuklearmedizinischer Maßnahmen 1,07 mSv beziehungsweise 0,07 mSv pro Einwohner.

Eine Abschätzung des mit der medizinischen Strahlenexposition verbundenen Risikos macht nur dann Sinn, wenn sich diese individuell auf die betroffene Person, also den Patienten oder die Patientin, bezieht. Dabei darf auch der reale diagnostische oder therapeutische Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt bleiben. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach radiologisch untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Um zur Untersuchung dieser Fragestellung eine Datenbasis zu definieren, wurde vom BfS eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich initiiert: Von Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, wurden für die zehn häufigsten Krebserkrankungen alle relevanten Patienten- und Untersuchungs-Daten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen - hochgerechnet auf Deutschland - mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen anderer

[18] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, NCRP Report No. 160, 2009

[19] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahr 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z.B. Bauchspeicheldrüsenkarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z.B. Brustkrebs).

Weiterhin ist bei einer strahlenhygienischen Bewertung der medizinischen Strahlenexposition zu berücksichtigen, dass es sich bei Patienten häufig um ältere Menschen handelt, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So wurden 2002 etwa 60% der Röntgenaufnahmen in deutschen Krankenhäusern für Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter waren.

Die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt sowie die Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen vorausgesetzt, überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung gegenüber dem Strahlenrisiko.

## V. Nichtionisierende Strahlung

Mit dem zunehmenden Technisierungsgrad der Bevölkerung steigt auch die Zahl der künstlichen Quellen, die zu einer Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung beitragen können. Unter dem Begriff „nichtionisierende Strahlung“ werden elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in einem Frequenzbereich von 0 Hertz (Hz) bis 300 Gigahertz (GHz) sowie optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 Nanometer bis 1 Millimeter zusammengefasst.

### 1. Elektromagnetische Felder

Das Bundesamt für Strahlenschutz sowie nationale und internationale Expertengremien verfolgen und bewerten nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Bei der Bewertung neuer Erkenntnisse wird jeweils die Gesamtheit der Forschungsergebnisse betrachtet. Dies ist die Grundlage für eine umfassende Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Um Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand zu schließen und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde zu verringern, koordiniert das BfS im Auftrag des BMU Forschungsvorhaben im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans (UFOPLAN). Ausführliche Informationen zu den laufenden und abgeschlossenen Forschungsvorhaben finden sich in der Schriftenreihe „Strahlenschutzforschung Programmreport“ unter: doris.bfs.de.

#### 1.1 Forschung

**Elektromagnetische Felder allgemein**

Das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen sowie neue Technikentwicklungen stellen eine aktuelle Herausforderung für den Strahlenschutz dar. Dabei sind neue und absehbare Technikentwicklungen zu berücksichtigen. In dem hierzu durchgeführten Forschungsvorhaben (Tabelle V.1-1) wurden Vorschläge zur systematischen Identifizierung künstlicher Quellen nichtionisierender Strahlung erarbeitet, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der allgemeinen Bevölkerung liefern können. Auf Grund der unterschiedlichen Expositionscharakteristika und der ungleichen gesundheitlichen Risiken nieder- und hochfrequenter Strahlung auf der einen und optischer Strahlung auf der anderen Seite wurde ein differenziertes Bewertungsschema entwickelt. Bei der Mehrzahl der im Projekt als relevant identifizierten Quellen beruht die Einordnung auf der Bewertung unbeabsichtigt emittierter niederfrequenter Felder (z.B. Streufelder). Da alle netzbetriebenen elektrischen Geräte von derartigen Feldern umgeben sind, ist die Zahl der in diesem Teil des elektromagnetischen Spektrums zu erfassenden Quellen besonders groß.

Tabelle V.1-1

| Forschungsvorhaben zum Thema elektromagnetische Felder |
|---|
| Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können<br>nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201101134413 |

Einige der als relevant bzw. bedingt relevant identifizierten Quellen unterliegen in Deutschland immissionsschutzrechtlichen Regelungen, so z.B. elektrische Energieversorgungsleitungen und Mobilfunksendeanlagen. Hinsichtlich des Schutzes der Allgemeinheit vor schädlichen Feldeinwirkungen berücksichtigen diese Regelungen neben den Immissionen der jeweiligen Anlage allerdings nur Beiträge anderer ortsfester Emittenten vergleichbarer Art. Mögliche Expositionsbeiträge netzbetriebener elektrischer Geräte oder mobiler Hochfrequenzsender (z.B. Mobiltelefone) bleiben unberücksichtigt bzw. sind insgesamt nicht geregelt. Der Betrieb von Geräten unterliegt vielfach keinen unmittelbar den Strahlenschutz betreffenden Regelungen.

Die Projektergebnisse geben Hinweise auf Quellen nichtionisierender Strahlung, bei denen Kenntnislücken bezüglich möglicher Expositionen von Personen bestehen. Sie enthalten weiter Hinweise, welche Techniken in Zukunft für die Exposition der Bevölkerung relevant werden könnten und bestätigen auf folgende Weise die Bedeutung, die dem europäischen Normungsprozess zukommt: Die Anwendung harmonisierter technischer Normen ist zwar nicht verbindlich, die dort definierten Verfahren werden aber vielfach genutzt, um eine Vermutungswirkung bezüglich der Übereinstimmung eines Produktes mit den wesentlichen Anforderungen einschließlich des Schutzes vor Gefahren durch Strahlung auszulösen. Dies ist eine Voraussetzung für das Inverkehrbringen und für die Inbetriebnahme von Produkten auf dem europäischen Gemeinschaftsmarkt und deshalb können bei fehlenden weitergehenden Regelungen die in den europäischen Nor-

men definierten Verfahren für den Strahlenschutz hohe Bedeutung erlangen.

**Statische Magnetfelder**

Magnetfelder üben Kräfte auf elektrisch geladene Teilchen im menschlichen Körper nur dann aus, wenn diese in Bewegung sind. Das betrifft den Blutstrom, oder Bewegungen des Körpers im Magnetfeld. Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen haben für magnetische Flussdichten unterhalb von vier Tesla keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper gefunden.

Personen, die als medizinisches Personal direkt in der Nähe von Magnetresonanztomographen (MRT) arbeiten, sowie Patienten sind starken statischen Magnetfeldern mit magnetischen Flussdichten von 3 Tesla (T) und mehr ausgesetzt. Ab einer Schwelle von etwa 2-4 T wird über vorübergehende Effekte berichtet, die zu einer Gefährdung an bestimmten Arbeitsplätzen oder bei bestimmten Tätigkeiten führen könnten. Betroffen sind im Wesentlichen kognitive Fähigkeiten. Dieses Thema ist für den Schutz des medizinischen Personals von hoher Priorität, da zunehmend Arbeitnehmer solchen und weitaus höheren Feldern ausgesetzt werden. Die Feldstärkewerte neuer Geräte (im medizinischen Bereich) erreichen bereits jetzt Werte im Bereich von 10 T. In naher Zukunft ist mit der Einführung von so genannten 7-Tesla-Geräten in die klinische Routine zu rechnen. Da es oberhalb von 4 T keine verlässlichen Informationen über mögliche gesundheitliche Risiken starker statischer Magnetfelder der Magnet-Resonanz-Tomographie gab, wurden diese in drei Forschungsvorhaben des UFOPLANs überprüft. Es ging dabei vor allem um den Schutz von schwangeren Patientinnen und des medizinischen Personals sowie um die kognitive Leistungsfähigkeit von Personen, die sich in starken Feldern und räumlichen Gradienten der statischen Magnetfelder bewegen. Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben deckten keine gesundheitlichen Risiken für schwangere Patientinnen und das medizinische Personal auf. Eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit von Medizinern, die Eingriffe an offenen MRT-Systemen durchführen, ist ebenfalls nicht zu erwarten.

**Niederfrequente elektrische und magnetische Felder**

Bei beruflicher Exposition mit starken niederfrequenten Magnetfeldern deuten epidemiologische Studien darauf hin, dass verstärkt neurodegenerative Erkrankungen auftreten. Es scheint vor allem bei der Alzheimer-Demenz und der amyotrophen Lateralsklerose (Schädigung der Nervenzellen, die Muskelbewegungen steuern), nicht aber bei der Parkinson-Krankheit und der Multiplen Sklerose einen statistischen Zusammenhang zu geben. Um zu klären, ob diese neurodegenerativen Erkrankungen tatsächlich ursächlich mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern zusammenhängen und welche Wirkmechanismen zu Grunde liegen, wurde eine umfangreiche tierexperimentelle Studie initiiert (s. Tabelle V.1-2). Ergebnisse werden für Ende 2013 erwartet.

Im Jahr 2010 hat die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung ICNIRP aktualisierte Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern publiziert[20]. Mit Hilfe des 2011 begonnenen Forschungsvorhaben „Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten“ (s. Tabelle V.1-2) soll untersucht werden, ob die in diesen aktuellen Expositionsrichtlinien neu eingeführten Basiswerte konservativ sind und wie Expositionssituationen auf Basis der neuen Richtlinien dosimetrisch untersucht und bewertet werden können. Feldstärkekomponenten im menschlichen Körper, die an Gewebegrenzschichten induziert werden, sollen besondere Beachtung finden, da frühere Untersuchungen gezeigt haben, dass diese Komponenten abhängig von der lokalen Gewebeverteilung im Körper großen Einfluss haben können. Ergebnisse werden für 2013 erwartet.

Im Bereich „Niederfrequente elektromagnetische Felder“ initiierte und koordinierte das BfS im Jahr 2012 die in Tabelle V.1-2 aufgeführten Studien.

Tabelle V.1-2

**Forschungsvorhaben zum Thema niederfrequente elektromagnetische Felder**

| Forschungsvorhaben |
|---|
| Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell www.bfs.de/de/elektro/nff/weitere_informationen/Neurodegenerative_Erkrankungen |
| Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten |
| Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo (s. Leukämie im Kindesalter) |

**Leukämie im Kindesalter**

Auf Grund konsistenter Ergebnisse epidemiologischer Studien wird ein erhöhtes Risiko für Leukämie im Kindesalter bei Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang bei einer erhöhten häuslichen Magnetfeldexpositionen von mehr als 0,3 - 0,4 Mikrotesla (µT). Deshalb haben die WHO und die IARC bereits 2002 niederfrequente Magnetfelder als "möglicherweise krebserregend" (Klasse 2B) eingestuft. Die epidemiologischen Ergebnisse konnten jedoch durch tierexperimentelle Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien bisher nicht bestätigt werden. Sollte der beobachtete statistische Zusammenhang tatsächlich kausal sein, wäre etwa 1% der Leukämiefälle auf eine relativ erhöhte Magnetfeldexposition zurückführbar.

Bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter wird von einem multifaktoriellen Geschehen ausgegangen,

[20] ICNIRP, Guedelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz), www.icnirp.de/documents/LFgdll.pdf

d. h. mehrere Faktoren und äußere Einflüsse wirken beim Entstehen der Krankheit zusammen. Das BfS bemühte sich daher um internationale Expertendiskurse, um zu klären, ob und wenn ja welchen Anteil ionisierende und nichtionisierende Strahlung an der Anzahl der Erkrankungen (Inzidenzraten) an Leukämie im Kindesalter hat. Die in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführten Expertengespräche zeigten deutlich, dass die Komplexität dieser Fragestellung eine mittel- bis langfristig angelegte, interdisziplinäre Forschungsplanung erfordert. Eine entsprechend umfassende Forschungsagenda wurde von eingeladenen Experten im Juli 2010 erarbeitet und veröffentlicht[21]. Im Jahr 2012 wurde diese Forschungsagenda in einem weiteren Expertengespräch, das zusammen mit der französischen Strahlenschutzbehörde IRSN (www.irsn.fr) organisiert wurde, erweitert und vertieft[22].

| Tabelle V.1-3<br>**Forschungsvorhaben zum Thema Leukämie im Kindesalter** |
|---|
| Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz von Leukämien im Kindesalter in verschiedenen Ländern |
| Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden können |
| Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (prospektive Forschungsansätze) |
| Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung präleukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden |
| Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung von kindlichen Leukämie-Fällen (Akute lymphoblastoide Leukämie ALL) |

Bereits vor der breit angelegten Forschungsagenda wurde u.a. das Vorhaben "Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das sich entwickelnde blutbildende System, das Immunsystem und das zentrale Nervensystem (ZNS) in vivo" vergeben (s. Tabelle V.1-2), dessen Ergebnisse in 2013 bewertet und in kommenden Vorhaben entsprechend berücksichtigt werden.

Auf Basis der Forschungsagenda wurden vom BfS fünf Pilot- und Machbarkeitsstudien im Rahmen des UFOPLANs initiiert (s. Tabelle V.1-3). Die Pilot- und Machbarkeitsstudien bilden unabdingbare Voraussetzungen für die weitere Forschung zur Entstehung der Leukämie im Kindesalter mit dem Ziel, im weiteren Verlauf den möglichen Einfluss von ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich und von schwachen niederfrequenten Magnetfeldern abzuklären. Ergebnisse für die hier gelisteten Forschungsvorhaben werden Ende 2013 erwartet.

[21] Ziegelberger G et al., Blood Cancer Journal 2011, 1, doi:10.1038/bcj.2010.1

[22] Laurier D et al. 2013 Childhood leukaemia risks: Recommendations for future research activities towards a better understanding of unexplained results, submitted

**Hochfrequente elektromagnetische Felder**

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der wesentliche Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2012 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Dabei geht es um mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge so genannter nicht-thermischer Wirkungen. Nicht-thermische Effekte sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Nicht-thermische Wirkungen wie zum Beispiel Kraftwirkungen auf einzelne Zellen sind zum Teil gut untersucht. Sie treten im Mobilfunkfrequenzbereich aber erst bei wesentlich höheren Intensitäten auf als die thermischen Wirkungen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nicht-thermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder wurden in jahrzehntelanger Forschung wissenschaftlich nicht nachgewiesen.

Auch das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (www.emf-forschungsprogramm.de/) ergab in Übereinstimmung mit weiteren nationalen und internationalen Forschungsergebnissen, dass die früheren Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/de/elektro/hff/wirkungen) in unabhängigen Wiederholungsstudien nicht bestätigt werden konnten.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitrisiken für Handynutzung von mehr als 10 Jahren und der Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder darauf empfindlicher reagieren als Erwachsene. Diese Unsicherheiten führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hochfrequente elektromagnetische Felder in Klasse 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft haben (Klasse 1: krebserregend, Klasse 2a: wahrscheinlich krebserregend, Klasse 2b: möglicherweise krebserregend, Klasse 3: nicht klassifizierbar, Klasse 4: wahrscheinlich nicht krebserregend)[23].

Dies und die Nutzung neuer technologischer Anwendungen verschiedener Frequenzbereiche hochfrequenter elektromagnetischer Felder, z.B. Anwendungen wie die im Millimeterwellen- oder Terahertzbereich arbeitenden Körperscanner, erfordert weitere Forschung zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage. Die hierfür auf In-

[23] Electromagnetic fiels and public health: mobile phones (Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit):Fact sheet N° 193 vom Juni 2011, www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html

itiative des BfS durchgeführten im Jahr 2012 abgeschlossenen Forschungsvorhaben sind in Tabelle V.1-4 aufgeführt.

Tabelle V.1-4

| **Abgeschlossene Forschungsvorhaben zum Thema hochfrequente elektromagnetische Felder** |
|---|
| Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro |
| Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013041610546 |
| Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio-Frequency-Identification (RFID) -Technologien entstehen http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201208089216 |

In dem Vorhaben "Gentoxische Effekte von Terahertz-Strahlung in vitro" wurden verschiedene Zellkulturen mit Terahertz-Strahlung verschiedener Frequenzen zwischen 106 GHz und 2,52 THz exponiert. Die Expositionen erfolgten für 2, 8 und 24 Stunden bei Leistungsdichten unterhalb, in der Größenordnung und oberhalb des Grenzwertes. Die aus der Exposition resultierende Erwärmung war vernachlässigbar. Gentoxische Effekte wurden nicht beobachtet.

Die Ergebnisse des Vorhabens "Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken" zeigen, dass mit den Basisstationen der neuen Mobilfunktechniken LTE und TETRA-BOS eine Immissionszunahme der Bevölkerung verbunden ist. Die Gesamtimmission durch ortsfeste Mobilfunksendeanlagen bewegt sich in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen aber auch im näheren Umfeld von Basisstationsstandorten nach wie vor auf niedrigem Niveau und hat an keinem der untersuchten Messpunkte die Grenzwerte der 26. BImSchV erreicht. Bei Einhaltung der Grenzwerte ist nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand nicht mit nachteiligen Gesundheitswirkungen zu rechnen. Auch weiterhin wird die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern hauptsächlich durch körpernah betriebene Sender (Handy, Smartphone) bestimmt.

Auf Basis von detaillierten und umfangreichen Messungen sowie numerischen Berechnungen wurden im Vorhaben "Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID)-Technologien entstehen" [RFID 1] strahlenschutztechnische Analysen im Hinblick auf die Exposition von Personen durch die von Geräten der gegenwärtig verbreiteten RFID- und EAS-Technologien (Frequenzbereich 1,6 kHz bis 2,45 GHz) erzeugten elektromagnetischen Felder durchgeführt und die Ergebnisse auf Basis der von ICNIRP 1998 veröffent-lichten Empfehlungen bewertet. Zusätzlich erfolgten Untersuchungen im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern durch RFID- und EAS-Geräte. Sowohl hinsichtlich der Exposition von Personen als auch im Hinblick auf mögliche Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern erwiesen sich dabei niederfrequente RFID- und EAS-Geräte (Arbeitsfrequenzen bis ca. 120 kHz) als strahlenschutztechnisch deutlich relevanter als Anwendungen bzw. Geräte mit größeren Arbeitsfrequenzen. Bei unmittelbarer Annäherung an Antennen von LF-RFID-Lesegeräten (120 kHz) mit großen Reichweiten (vicinity coupling) oder niederfrequenten EAS-Systemen (Arbeitsfrequenzen bis 58 kHz) können, unter ungünstigen Bedingungen, Überschreitungen der ICNIRP-1998-Basiswerte für die allgemeine Bevölkerung und Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern nicht ausgeschlossen werden. Weitere auf Initiative des BfS im Jahr 2012 initiierte und betreute Forschungsvorhaben im Bereich hochfrequente Felder sind in Tabelle V.1-5 aufgeführt.

Tabelle V.1-5

| **Laufende Forschungsvorhaben zum Thema hochfrequente elektromagnetische Felder** |
|---|
| Einfluss hochfrequenter Felder auf menschliche Fibroblasten (Gentoxizität) |
| Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern |
| Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen |
| Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro |
| Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich |
| Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID Technologien aus FV 3609S80002 [RFID 1] und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen. |

**Selbstverpflichtung Mobilfunkbetreiber - Weiterführende Forschung**

Die Mobilfunkbetreiber haben sich im Dezember 2001 gegenüber der Bundesregierung dazu verpflichtet, den Verbraucher- und Gesundheitsschutz im Bereich des Mobilfunks zu verbessern. Schwerpunkte der hierzu abgegebenen Selbstverpflichtung liegen unter anderem auf der Verbesserung der Kommunikation und der finanziellen Unterstützung von Forschungsarbeit.

Die Mobilfunkbetreiber berichten der Bundesregierung regelmäßig über den Stand der Umsetzung ihrer freiwilligen Selbstverpflichtung. Das im Überprüfungsgespräch September 2012 vorgestellte Jahresgutachten bestätigte, dass die Mobilfunkbetreiber in dem Beobachtungszeitraum 2009 bis 2011 die Zusagen der Selbstverpflichtung weitgehend erfüllt haben und damit das erreichte hohe Niveau der Informationsmaßnahmen und Abstimmungsprozesse erhalten und teilweise noch ausbauen konnten. In anderen Bereichen gibt es nach Feststellung des Gutachtens noch Optimierungsmöglichkeiten.

85 % der befragten Kommunen bestätigen dieses Ergebnis. So seien sie bei Neubauten von Mobilfunksendeanlagen durch die Mobilfunknetzbetreiber rechtzeitig infor-

miert worden. Ebenfalls als gut wurde das Angebot der Mobilfunknetzbetreiber bezeichnet, die Kommunen bei der Bürgerinformation zu unterstützen. Bezüglich der Konfliktfälle ist festzustellen, dass Umrüstungen an bestehenden Standorten weniger konfliktträchtig sind als Neubauten.

Verbesserungsfähig ist die Information der Kommunen durch die Mobilfunknetzbetreiber bei der Standortplanung und dem Sendebeginn von Mobilfunkanlagen, wobei ein Gefälle zwischen großen und kleinen Kommunen festgestellt wurde. Die Mobilfunknetzbetreiber haben zugesagt, ihre Informationsprozesse auf kommunaler Ebene zu überprüfen und den Erfordernissen entsprechend anzupassen.

Hinsichtlich der Verbraucherinformation wurden die von den Mobilfunknetzbetreibern angebotenen Informationsmöglichkeiten (Internet, Broschüren) als gut bescheinigt.

Die im Rahmen der Selbstverpflichtung durch die Mobilfunkbetreiber anteilig mitfinanzierten Forschungsarbeiten des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Design, Vergabe und Interpretation der Forschungsergebnisse lagen ausschließlich in der Hand des BfS und wurden transparent durch das BfS kommuniziert) bezogen sich auf die Erforschung der Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder sowie auf die Ermittlung der Grundlagen für eine verbesserte Risikokommunikation. Der Schwerpunkt der fortführenden Forschung liegt nun auf "Wissensmanagement" und "Risikokommunikation". In Anlehnung an das Verfahren, das sich bei der Umsetzung der 54 Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms bewährt hat, werden nun Forschungsvorhaben zu Wissensmanagement und Risikokommunikation speziell für den Bereich Mobilfunk gefördert. Die Vergabe entsprechender Forschungsvorhaben erfolgt 2013.

| Tabelle V.1-6<br>**Forschungsvorhaben zum Thema BOS-Funk** |
|---|
| Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen<br>www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/studien_tetra/Probandenstudie_kognitive_Funktionen.html |
| Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und detailliert im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung des Auges bei Expositionen durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte<br>nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013062410893 |

**Funkdienst für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk)**

Der derzeit im Aufbau befindliche Funkdienst für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk) basiert auf dem TETRA (Terrestrial Trunked Radio)-Standard. Die genutzten Sendefrequenzen liegen bei etwa 400 MHz. Das System wird parallel zu den bestehenden öffentlichen Mobilfunknetzen GSM900, GSM1800 und UMTS aufgebaut. Wie auch bei den öffentlichen digitalen Netzen handelt es sich bei TETRA um ein zellulares Mobilfunknetz, bestehend aus vielen kleinen Versorgungszellen mit jeweils einer Basisstation, die insgesamt das Bundesgebiet abdecken sollen. Um beim Ausbau des BOS-Netzes die grundlegenden Anforderungen des Strahlenschutzes sowie der Information und Risikokommunikation angemessen zu berücksichtigen, hat das BfS mit der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) eine Vereinbarung geschlossen. Darin ist festgelegt, dass die BDBOS zur Klärung offener wissenschaftlicher Fragen die Durchführung von Forschungsvorhaben zur Risikobewertung von Feldern des TETRA-Standards finanziert. Die in Tabelle V.1-6 aufgeführten Forschungsvorhaben wurden auf Initiative des BfS im Jahr 2012 betreut.

Die Probandenstudie wird vom BfS fachlich und administrativ begleitet in Anlehnung an das Verfahren, das sich bei der Umsetzung der Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber bewährt hat. Ergebnisse der Probandenstudie werden 2013 erwartet.

Das 2012 abgeschlossenen Vorhaben „Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und detailliert im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung des Auges bei Expositionen durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte“ wurde im BfS selbst bearbeitet. Es ergab, dass beim typischen Einsatz von TETRA Funkgeräten im BOS-Netz keine Überschreitung der für beruflich Exponierte geltenden Grenzwerte erfolgt.

**Risikokommunikation - Forschung und Dialog**

Speziell für den Bereich „Mobilfunk“ wurden bereits im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms Forschungsvorhaben durchgeführt, mit dem Ziel, die Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft und die Risikowahrnehmung an sich zu erfassen sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Risikokommunikation zu diesem Thema aufzuzeigen. Ein wesentlicher Bestandteil der Risikokommunikation ist die Bereitstellung umfassender und möglichst neutraler Informationen. Im EMF-Portal (http://www.emf-portal.de) wird die wissenschaftliche Literatur zu allen Themenbereich im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern zusammengestellt, nach bestimmten Kriterien aufbereitet und mit ergänzenden Informationen zur Verfügung gestellt. Mit dem Ziel einer weiteren Verbesserung des Portals wurde 2012 ein Forschungsvorhaben vom BfS initiiert und betreut (s. Tabelle V.1-7).

Ein weiteres Vorhaben wurde 2012 beendet (s. Tabelle V.1-7). Ziel dieses Vorhabens war es zu klären, welche Akteure in Deutschland im Bereich Strahlenschutz die Öffentlichkeit informieren und wie Angebote von z. B. Unternehmen, Wirtschaftsverbänden, NGOs, Behörden, Ministerien und wissenschaftlichen Instituten in der Öffentlichkeit von Bürgerinnen und Bürgern wahrgenommen werden. Das FV erfasste somit neben Informationen über den Bereich der nichtionisierenden Strahlung auch Aspekte der ionisierenden Strahlung. Kenntnis und Nutzung von Informationsangeboten sollten damit zu einan-

der ins Verhältnis gesetzt werden. Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführte quantitative Studie ergab ein großes Interesse am Thema Strahlenschutz in der Stichprobe. Insbesondere die Themen „AKW“ und „UV-Strahlung“ fanden besondere Beachtung. Die Risikowahrnehmung in Bezug auf die Strahlung von AKWs war am stärksten ausgeprägt. Die UV-Strahlung wurde als „eher gefährlich“ eingeschätzt. Alle anderen Strahlenquellen wurden hingegen im Mittel als „eher ungefährlich“ beurteilt. Die hauptsächlichen Informationsquellen zu Themen des Strahlenschutzes waren für die Öffentlichkeit Fernsehen und Printmedien. Informationsmaterialien aus der Wissenschaft, von Behörden, NGOs und der Industrie waren nur einer Minderheit bekannt.

Tabelle V.1-7

**Forschungsvorhaben zum Thema Risikokommunikation**

| Forschungsvorhaben zum Thema Risikokommunikation |
|---|
| Weiterentwicklung der Internet Informations Plattform "EMF Portal" und Ausbau zum WHO Kollaborationszentrum |
| Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013030810341 |

Bereits im Jahr 2004 wurde unter Leitung des Bundesamtes für Strahlenschutz ein Runder Tisch eingerichtet. Der Runde Tisch ist ein unabhängiges Beratungs- und Diskussionsgremium, das mehr Transparenz bei der Vermittlung und Kommunikation von Erkenntnissen im Bereich Strahlenschutz schaffen soll. Ursprünglich wurde der Runde Tisch zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) eingerichtet mit dem Ziel, das BfS bei der Kommunikation des Programms, seiner Ziele und Ergebnisse zu unterstützen. Der Runde Tisch hat sich als Diskussions- und Beratungsgremium über das DMF hinaus bewährt. Nach Abschluss des DMF wurde er als „Runder Tisch Elektromagnetische Felder“ (RTEMF) fortgeführt. Das Themenspektrum wurde dabei auf den Bereich Niederfrequenz, speziell Stromnetzausbau, erweitert. Fragen, wie wissenschaftliche Forschungsergebnisse verständlich kommuniziert werden können, wie eine kritische Öffentlichkeit informiert und betroffene Bürgerinnen und Bürger rechtzeitig und angemessen in Entscheidungsprozesse eingebunden werden können, sind sowohl für den Mobilfunk als auch für den Stromnetzausbau zu betrachten. Der RTEMF hat sich als Forum etabliert, auf dem unterschiedliche Akteure ihre Sichtweisen und Erkenntnisse zu Fragen des Strahlenschutzes bei EMF diskutieren und austauschen können.

**Forschung zur Umsetzung emissionsmindernder Technologien des BMBF [24]**

Das BMBF hat in den vergangenen Jahren eine Reihe von Forschungsvorhaben im Rahmen der Leitinnovation Mobiles Internet gefördert, mit denen die Umsetzung der Empfehlungen des Vorhabens „miniwatt“ erforscht worden ist. An diesen erfolgreich abgeschlossenen Forschungsvorhaben wirkten u.a. die weltweit führenden Mobilfunkausrüster mit. Damit war gewährleistet, dass in zukünftigen Generationen der Mobilfunktechnik die Vorschläge zur Emissionsreduzierung der Systeme marktfähig sein werden.

### 1.2 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat bereits im Jahr 2001[25] empfohlen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen.“

Die SSK weist darauf hin, dass entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft, die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder von Geräten, z. B. von Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne. Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ (RAL-UZ 106) durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit dem BMU und BfS im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert werden.

Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte auf dem deutschen Markt verfügbarer Mobiltelefone in einer Liste zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/de/elektro/oekolabel.html. 2013 ist eine weitere Aktualisierung der Liste geplant. Die zuletzt durchgeführte Erhebung umfasst 1784 Geräte von 50 Herstellern und vier Netzbetreibern (s. Vorjahresbericht, Tabelle V.1-6 auf Seite 64).

Unter www.bfs.de/de/elektro//hff/anwendungen/mobilfunk/oekolabel_mobiltelefone.html erfolgt eine kurze statistische Auswertung der Erhebung zur Frage, wieviele Geräte aus dieser Liste das Kriterium für die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ (SAR-Wert bis 0,6 W/kg) zur Zeit erfüllen bzw. seit Beginn der Erhebungen im Jahre 2002 erfüllt haben. Demnach konnte für 1570 klassische Mobiltelefone und Smartphones ein standardisiert ermittelter SAR-Wert (Anwendungsfall Handy am Kopf, „Handys“) gefunden werden. Davon sind 300 aktuelle Geräte (Rest Auslaufmodelle), von denen 221 Geräte zu der, erstmals speziell berücksichtigten, Gerätegruppe der multimediafähigen Smartphones gezählt werden können.

Es lässt sich erkennen, dass aus Sicht des Strahlenschutzes mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca.

[24] Die Vorhaben des BMBF und des BMWi können dem Fünften Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf die Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen (Deutscher Bundestag, Drucksache 17/12027) entnommen werden, dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/120/1712027.pdf

[25] SSK-Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“, Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 2001, Band 58, Bonn 2003

39 % der im August des Jahres 2012 auf dem deutschen Markt aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone und Smartphone mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ hätten ausgezeichnet werden können; zieht man hier nur die aktuell erhältlichen Smartphone in Betracht, dann wären es 38% gewesen. Abbildung V.1-1 zeigt, dass die aktuelle Erhebung an das Ergebnis vom Juli 2009 anknüpft. Mit einer Steigerung von 13 Prozentpunkten liegt das Ergebnis der aktuellen Erhebung deutlich über dem der letzten vom Dezember 2010.

Ein Hersteller hatte 2007 das Umweltzeichen für ein Modell beantragt und erhalten, den Vertrag Ende 2009 allerdings aufgekündigt. Ansonsten lehnen die Handyhersteller das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte geschlossen ab.

Informationen zu den Vergabegrundlagen für den „Blauen Engel“ für Handys durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung RAL gGmbH (RAL-UZ 106) sind auf der Internetseite http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=168 zu finden.

Für 247 von insgesamt 1784 erfassten Geräten konnte ein SAR-Wert für den Anwendungsfall Betrieb am Körper (body worn) erhoben werden. Auch hier gilt der empfohlene Teilkörper-Basisgrenzwert von 2 W/kg. Im Unterschied zum Anwendungsfall Handy am Kopf ist in der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ noch keine spezielle Anforderung für den Betrieb am Körper enthalten. In Tabelle V.1-6 des Vorjahresberichtes (Seite 64) wird der Anteil der Mobiltelefone aufgeführt, die analog zum Strahlenschutzkriterium des Blauen Engels einen SAR-Wert bis zu 0,6 Watt pro Kilogramm für den Anwendungsfall body worn vorweisen.

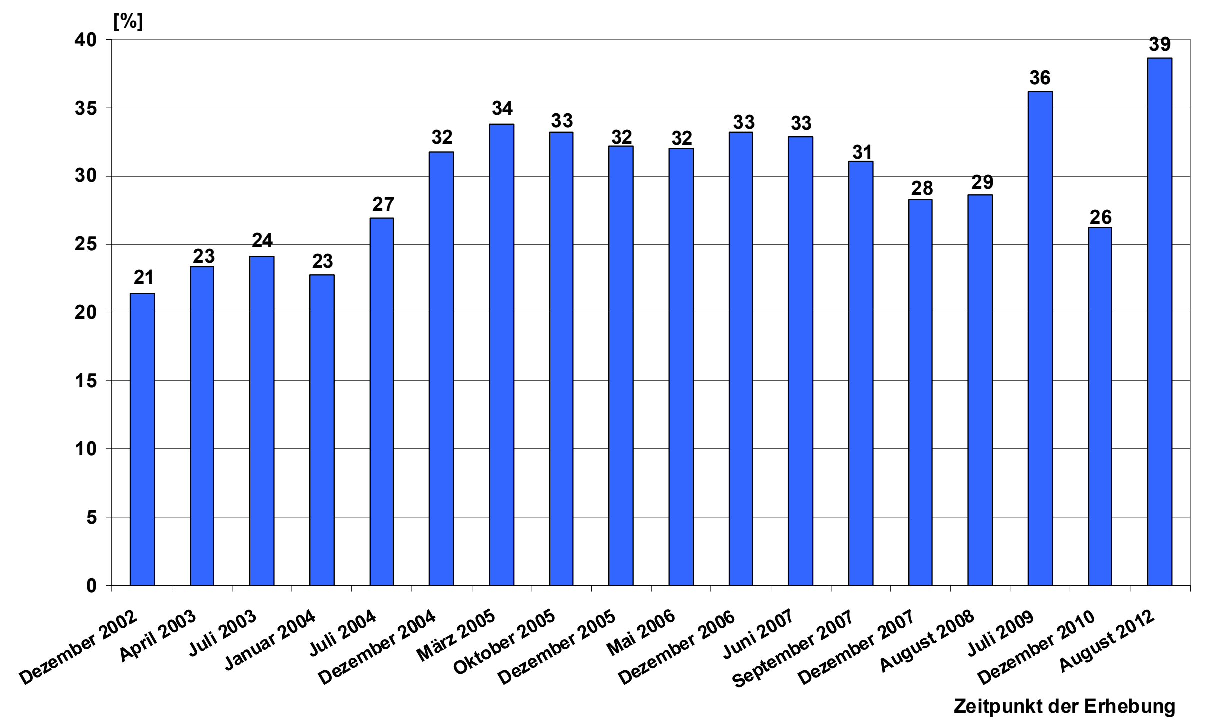
In Übereinstimmung mit der aktuellen Produktnorm darf der SAR-Wert für diesen Anwendungsfall gemessen werden bei Abständen bis 2,5 cm zwischen dem Mobilfunkgerät und dem Messphantom, das den Körper nachbildet. Der Hersteller kann in den Benutzerhinweisen die bestimmungsgemäße Verwendung seines Produkts mit einem entsprechenden Mindestabstand oder mit einer speziellen Tragevorrichtung (z.B. „Gürteltasche“) festlegen. Wenn der Benutzer die Herstellerfestlegung in der Praxis nicht beachtet, kann der SAR-Werte über den gemessenen Wert ansteigen. In ungünstigen Fällen kann der empfohlene Grenzwert überschritten werden. Weil die vorhersehbare Verwendung bei Gebrauchsabständen von weniger als 2,5 cm nicht als verbindliche Prüfbedingung festgelegt ist, muss die Norm aus der Sicht des Strahlenschutzes überarbeitet werden.

Aus dem beschriebenen Grund sind die Messabstände bei der Ermittlung der body-worn-Werte derzeit nicht einheitlich. Um dies zu dokumentieren und eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die herstellerseitig genannten Messabstände in der SAR-Werteliste in einer separaten Spalte angegeben (88 Angaben wurden gemacht).

Das Bundesamt für Strahlenschutz hält eine für den Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung strahlungsarmer Mobiltelefone nach wie vor für wünschenswert. Der „Blaue Engel“ stellt eine solche Kennzeichnung

Abbildung V.1-1



dar. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Ende 2006 wurde für die Produktgruppe „Säuglingsüberwachungsgeräte“ (Babyphone) ebenfalls eine Vergabegrundlage für den „Blauen Engel“ (RAL-UZ 125) veröffentlicht (siehe http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/produktsuche/produkttyp.php?id=353). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des Umweltzeichens ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung (Mitte 2013) ist ein Produkt mit dem Umweltzeichen ausgezeichnet.

Seit Anfang 2009 gibt es ein Umweltzeichen (RAL-UZ 131, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=209) für digitale Schnurlostelefone, die die in den Vergabegrundlagen definierten Kriterien „Anpassung der Sendeleistung“, „Reichweitenbegrenzung“ sowie „Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb“ erfüllen. Aktuell sind mehrere digitale Schnurlostelefone mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

Weitere Produkte, die ausgezeichnet werden können, wenn bestimmte Anforderungen an die Strahlungseigenschaften nachgewiesen werden, sind:

– Mikrowellenkochgeräte für den Hausgebrauch (RAL-UZ 149, seit 2010, www.blauer-engel.de/de/produkte_-marken/vergabegrundlage.php?id=200),
– Lampen (RAL-UZ 151, seit 2010, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=207).
– Router (RAL-UZ 160, seit 2011, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=227),
– Programmierbare Heizkörperthermostate, (RAL-UZ 168, seit 2012, www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=236).

## 2. Optische Strahlung

### 2.1 Forschung zur UV-Strahlung

#### UV-Exposition zur Vitamin-D-Bildung

Übermäßige UV-Belastung führt zu sofortigen sowie dauerhaften und irreversiblen Gesundheitsschäden an Auge und Haut. Gleichzeitig wirkt sich UV-Strahlung gesundheitsfördernd aus, indem durch UV-B-Strahlung die körpereigene Synthese von Vitamin D induziert wird. Vitamin D wird vor allem für den Calcium- und Phosphatstoffwechsel, insbesondere für den Knochenaufbau benötigt, ist jedoch ebenfalls an Prozessen wie Zelldifferenzierung, Zellvermehrung oder Immunmodulation beteiligt. Weiterhin wird diskutiert, ob eine ursächliche Beziehung zwischen Vitamin-D-Status und Krebsrisiko besteht, also ob ein niedriger Vitamin-D-Status das Risiko zum Beispiel für Darmkrebs erhöhen könnte. Die Tatsache, dass UV-B-Strahlung ein nachgewiesenes Kanzerogen ist, gleichzeitig aber auch für die körpereigene Vitamin-D-Synthese benötigt wird, führt zu international widersprüchlichen Empfehlungen hinsichtlich einer gesundheitsförderlichen UV-Exposition - also letztendlich hinsichtlich des richtigen UV-Schutz-Verhaltens.

Die 2011 abgeschlossenen Forschungsvorhaben ergaben zum einen, dass Teile der Bevölkerung auf Grund des individuellen Lebensstils und des individuellen Nutzungsgrades der Sonne (exzessive Sonnenexposition) vergleichsweise großen sonnenbrandwirksamen UV-Dosen ausgesetzt sind, die ein reales Gefährdungspotenzial bedeuten. Betroffen sind hiervon insbesondere Erwachsene mit viel Freizeit sowie Kinder in Kindergärten und Kinder in einigen der betrachteten Ganztagsschulen. Zum anderen zeigte sich, dass bereits niedrige UV-Dosen (bis 10% der minimalen sonnenbrandwirksamen Dosis, MED) ausreichen, um die Vitamin-D-Bildung einzuleiten. Dabei herrscht eine deutliche Abhängigkeit der Vitamin-D-Bildungseffektivität der Haut von der Körperregion, auf die UV-Strahlung auftrifft, und der Körperverteilung der UV-Bestrahlung. Die Untersuchungen ergaben auch Hinweise, dass Bestrahlungen in Solarien nur etwa 30% der Vitamin-D-Bildungseffektivität der natürlichen UV-Strahlung (Sonnenstrahlung) erreichen. Um der Frage nachzugehen, wie sich die Vitamin-D-Bildungsrate bei UV-Bestrahlungen in üblich genutzten Solarien verhält und inwieweit die Nutzung von Hautcremes mit einem Lichtschutzfaktor (LSF) von 15 Einfluss auf die körpereigenen Vitamin-D-Bildung nehmen, wurde 2012 die Ausschreibung für ein Forschungsvorhaben (s. Tabelle V.2-1) vorbereitet.

#### Beratung in Solarienbetrieben

Neben dem seit August 2009 geltenden Nutzungsverbot für Minderjährige ist unter anderem seit November 2012 das Angebot einer Beratung und Information für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien durch gemäß UV-Schutz-Verordnung (s. Rechtliche Regelung von Solarienbetrieben) geschultes Fachpersonal rechtlich vorgeschrieben. Der Nutzen dieses Beratungsgebots ist zu evaluieren. Hierzu wurde 2012 ein Forschungsvorhaben vom BfS initiiert und betreut (Tabelle V.2-1).

Tabelle V.2-1

| Forschungsvorhaben zum Thema UV |
|---|
| Optimierung der Empfehlungen zu UV-Strahlung und Vitamin D Status durch wissenschaftlich Erfassung alltagsrelevanter Einflüsse auf die Realisierung eines optimalen Vitamin-D-Status bei minimierter solarer UV-Exposition |
| Evaluierung des messbaren Nutzens für die Solarienbesucher durch die UV-Schutzverordnung, insbesondere die Unterweisung durch qualifiziertes Personal in Solarien |

### 2.2 Solares UV-Monitoring in Deutschland

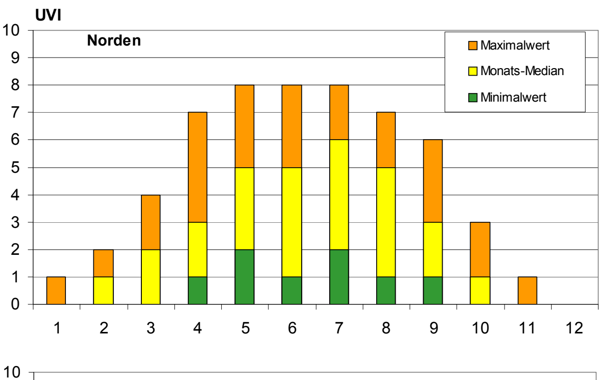
Seit 1993 wird die bodennahe solare UV-Strahlung an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinu-

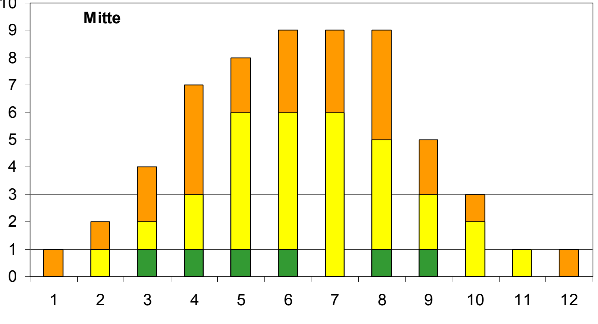
ierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das BfS, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesundheitlich bewertet, dokumentiert und regelmäßig veröffentlicht.

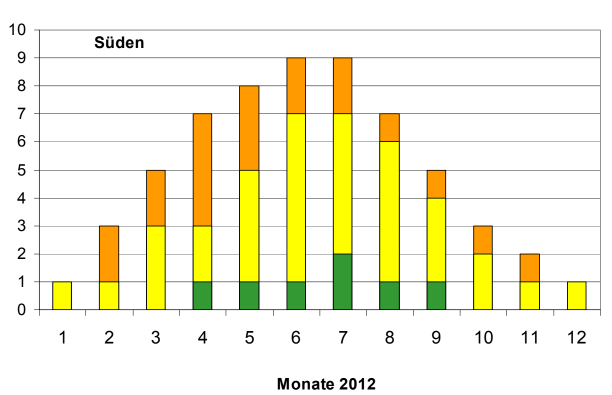
An den Messstationen des deutschen UV-Messnetzes (www.bfs.de/de/uv/uv2) wird täglich die UV-Strahlung spektralradiometrisch gemessen. Hiervon wird der so genannte UV-Index (UVI) abgeleitet. Der UV-Index beschreibt den am Boden auftretenden Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und bezieht sich stets auf eine horizontale Fläche. Je höher der UVI an einem Tag ist, desto schneller kann bei ungeschützter Haut ein Sonnenbrand auftreten. Die Skala reicht von 1 bis 12+. Ein UV-Index von 12 bezeichnet dabei eine UV-Bestrahlungsstärke, wie sie am Äquator mittags bei wolkenlosem Himmel auftritt. Sowohl die täglichen als auch die 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte werden vom BfS in den Sommermonaten im Internet unter www.bfs.de/de/uv/uv_-messnetz/uvi veröffentlicht. Zusätzlich richtete das BfS 2012 den Newsletter „UV-Prognose fürs Wochenende“ für Tageszeitungen, Wetterredaktionen und Interessierte ein. Mit einer E-Mail an uv-prognose-subscribe@mailman.bfs.de kann man sich für den Newsletter „UV-Prognose“ anmelden und erhält dann von Mai bis September freitags um 11 Uhr die aktuelle UV-Prognose fürs Wochenende. In Abbildung V.2-1 sind für das Jahr 2012 die maximalen, mittleren und minimalen UV-Index-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden, die Mitte und den Süden der Bundesrepublik dargestellt.

Abbildung V.2-1

**Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2012 im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands**




Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Bereits im April wurde im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands ein UV-Index-Wert von 7 erreicht. Im Norden wurde im Mai, Juni und Juli ein UVI von 8 erreicht. In der Mitte Deutschland wurde in den Monaten Juni, Juli und August und im Süden Deutschlands im Juni und Juli sogar ein UVI von 9 erreicht. Eine durch den Abbau der atmosphärischen Ozonschicht bedingte Zunahme der UV-Strahlungsintensität kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

## 2.3 Rechtliche Regelungen von Solarienbetrieben

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und Nutzung von Solarien in Sonnenstudios und so genannten Wellness-Bereichen kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs steht in direktem Zusammenhang zu diesem Freizeitverhalten. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2012 für die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Belastung durch Solarien für die Nutzer eingesetzt.

Auf Initiative des BMU wurden in Zusammenarbeit mit dem BfS rechtliche Regelungen erarbeitet. Im August 2009 trat das „Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG), und am 1. Januar 2012 die auf diesem Gesetz basierende Rechtsverordnung für Solarien, die „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung“ (UVSV) in Kraft. Ein Handeln gegen die Vorgaben des NiSG oder der UVSV bedeutet eine Ordnungswidrigkeit und kann mit Geldbußen bis zu 50.000 Euro geahndet werden. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben liegt bei den Bundesländern.

Basierend auf den praktischen Erfahrungen des BfS bei der Kontrolle der Solarienbetriebe, die im Rahmen des nun nicht mehr existenten freiwilligen Zertifizierungsverfahrens für Solarien nach den Kriterien des BfS zertifiziert wurden, bot das BfS 2012 mit Unterstützung des BMU zwei Informationsveranstaltungen für Vertreter von Landesbehörden an, die mit der Kontrolle von Solarien betreibenden Gewerben gemäß NiSG und UVSV betraut sind oder sein werden. Hierbei wurden zum einen die Anforderungen an Kontrollen, wie sie sich aus NiSG und UVSV

ergeben, ausführlich erläutert. Darüber hinaus wurde zum besseren Verständnis der Regelungen die gesundheitlichen Wirkungen von UV-Strahlung und die sich daraus abgeleiteten Ausschlusskriterien und Schutzmaßnahmen erklärt. Ein weiteres Thema war die Vermessung von Solarien. Hier wurde darauf hingewiesen, dass verlässliche Aussagen über die sonnenbrandwirksame Bestrahlungsstärke in Solarien, die einen Wert von 0,3 W/m$^2$ nicht überschreiten darf, ausschließlich mittels genormter strahlenspektroskopischen Vermessungen erhalten werden können. Zum Schluss wurde den Behördenvertretern eine mögliche Checkliste unterbreitet. Bei Verwendung in allen Bundesländern wäre die Durchführung vergleichbarer Kontrollen gegeben. Dies wäre für eine konsequente Durchsetzung der Vorgaben gemäß NiSG und UVSV in Deutschland von Vorteil. Den Behördenvertretern wurde die fachliche Unterstützung des BMU und des BfS bei Fragen zu Kontrollmaßnahmen angeboten. Dies wurde sehr begrüßt. Auf Grund steigender Nachfrage werden weitere Informationsveranstaltungen folgen.

Gemäß UV-Schutz-Verordnung ist seit November 2012 die Beratung von Nutzerinnen und Nutzern in Solarien durch qualifiziertes Fachpersonal gefordert.

Schulungen und Fortbildungen von Fachpersonal in Solarien dürfen ausschließlich Schulungsstätten durchführen, die hierfür eigens durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (www.dakks.de) akkreditiert werden. 2012 wurden zwei Schulungsstätten akkreditiert (twww.bfs.de/de/uv/uv2/solarien/freiw_zertifizierung/Fortbildung_Solarien_Fachpersonal.html). Für die fachlichen Belange der Akkreditierungsverfahren nahm das BfS in 2012 beratende Funktion ein.

## 2.4 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

**Primäre Hautkrebsprävention - UV-Aktion des BfS**

Seit 2010 führt das Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen seiner Informationskampagne „Sonne – aber sicher“ (www.bfs.de/de/uv/sonne_aber_sicher) bundesweit Aktionen zum UV-Schutz durch. Dazu zählen neben einer mobilen UV-Ausstellung mit einem zum UV-Infomobil ausgebauten Kleinlastwagen vor allem zielgruppenspezifische Unterrichtsmaterialien für Kindergärten, Grundschulen und Schulen der Sekundarstufe I. Die Unterrichtsmaterialien können ebenso wie sämtliche Informationsmaterialien zum Thema „UV-Strahlung“ kostenlos in gewünschter Stückzahl über das BfS bezogen werden.

2012 wurden das Angebot kostenloser Unterrichtsmaterialien und die Unterstützung vor Ort mittels Einsatz des UV-Infomobils durch Lehrerfortbildungen des BfS im Rahmen der Lehrerfortbildungen der Länder erweitert. Die erste BfS-Lehrerfortbildung erfolgte 2012 in Sachsen-Anhalt und war Anstoß für weitere Maßnahmen zur Hautkrebsprävention an Schulen Sachsen-Anhalts in 2013. Es ist vorgesehen, Lehrerfortbildungen auch in anderen Bundesländern zu etablieren.

**Primäre Hautkrebsprävention - Das UV-Bündnis**

2011 wurde auf Initiative des BfS das UV-Bündnis (www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_buendnis.html) gegründet, in dem wichtige Partner auf dem Gebiet des UV-Schutzes zusammenwirken. Die Bündnispartner treten gemeinsam für einen verantwortlichen Umgang mit der Sonne und für einen gelebten UV-Schutz ein. Die wichtigsten Aussagen zur Wirkung von UV-Strahlung und Empfehlungen zum notwendigen UV-Schutz hat das UV-Bündnis in einem Faltblatt kurz und verständlich zusammengefasst. Dieses Faltblatt ist auf den Internetseiten des BfS (www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/optische_strahlung/uv_buendnis_flyer.pdf) veröffentlicht. Es kann dort als PDF-Dokument heruntergeladen oder beim BfS kostenlos bestellt werden. Es eignet sich gleichermaßen als Informationsblatt für Kindergärten, Schulen, öffentliche Einrichtungen und als Patienteninformation in Arztpraxen. 2012 führten die Bündnispartner ein Fachgespräch zum Thema „UV-Exposition und Vitamin D“ durch. Es zeigte sich, dass vertiefte Diskussionen unter Einbezug weiterer ernährungswissenschaftlicher, medizinischer und photobiologischer Fachdisziplinen erforderlich sind. Ein entsprechendes Fachgespräch wird 2013 stattfinden.

**Sekundäre Hautkrebsprävention – Das Hautkrebsscreening**

Eine sekundäre Hautkrebspräventionsmaßnahme stellt das 2009 in den Krebsfrüherkennungs-Richtlinien des Gemeinsamen Bundesausschuss festgelegte Hautkrebs-Screening[26] dar. Es handelt sich dabei um das weltweit größte, organisierte und standardisierte Hautkrebsscreening (HKS), das als gesetzliche Maßnahme 2008 eingeführt wurde. Auswertungen der Krebsregisterdaten lassen erkennen, dass seit Einführung des Hautkrebsscreenings ein deutlicher Anstieg der Hautkrebserkranungsraten in Deutschland und gleichzeitig ein Rückgang der Haukrebs-induzierten Todesfälle verzeichnet werden kann. Somit stellt das Hautkrebsscreening eine wichtige Maßnahme dar, UV-bedingte Hautkrebserkrankungen frühzeitig zu erkennen und damit die Heilungschancen zu erhöhen. Ein wichtiges Thema bei allen Krebsfrüherkennungs-Untersuchungen ist zu gewährleisten, dass die Teilnahme an einer Früherkennungs-Untersuchung auf einer informierten Entscheidung der Anspruchsberechtigen beruht, die ausgewogen über Risiken und Vorteile der Früherkennungs-Untersuchung informiert hat. Hierzu müssen moderne Kommunikations-Strategien konzipiert, verwendet und überprüft werden. Um dies international zu fördern, führte EUROSKIN, einer der UV-Bündnispartner, Ende 2012 die Konferenz "Skin Cancer Screening - Implementation, burden & benefits (lessons from other cancer screenings)“ durch, die durch das BMU finanziell unterstützt wurde. Die Ergebnisse der Konferenz, die zur Verbesserung von Screeningmethoden allgemein, aber auch zur Verbesserung der Kommunikationsmethoden zur Bekanntmachung und Motivation beitragen, sind auf den Internetseiten von EUROSKIN unter (www.euroskin.eu/en/news/2013/04/2013_04_29_recommendations.php), veröffentlicht.

[26] Bekanntmachung eines Beschlusses des Gemeinsamen Bundesausschusses über eine Neufassung der Früherkennungs-Richtlinien, §§28-36, Bundesanzeiger 61 vom 2. Oktober 2009, www.g-ba.de/downloads/39-261-841/2009-06-18-KFU-Neufassung_BAnz.pdf

## Anhang A:

### Strahlendosis und Strahlenwirkung

### Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Medium, z.B. Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes[27].

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z.B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm – bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atom unter Abgabe von Strahlung in ein anderes umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schadenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt „Die Strahlendosis und ihre Einheiten“). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten – besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon – individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

### Die Strahlendosis und ihre Einheiten

Man charakterisiert die physikalischen und biologischen Auswirkungen am „Zielort Mensch“, an dem Strahlung absorbiert wird, durch verschiedene Dosisgrößen, u.a. die effektive Dosis, die in Millisievert (mSv) angegeben wird. Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition, d.h. die Strahlenbelastung des Menschen. Sie beruht auf der Energiedosis als Maß für die von einem Stoff aufgenommene Energie. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert die StrlSchV in ihrer Fassung vom 1. August 2001 außerdem als Messgrößen die Personendosis und die Ortsdosis.

Als Maß für die physikalische Strahlenwirkung kann die von einem Stoff aufgenommene Energie verwendet werden. Dafür ist die Energiedosis definiert worden. Die **Energiedosis** einer ionisierenden Strahlung gibt die pro Masse eines durchstrahlten Stoffes absorbierte Energie an.

$$\textit{Energiedosis} = \frac{\textit{absorbierte Strahlungsenergie}}{\textit{Masse}}$$

Der Quotient Joule pro Kilogramm wird als Einheit für die Energiedosis verwendet. Der besondere Einheitenname für die Energiedosis ist das Gray (Gy).

$$1\,Gy = 1\frac{J}{kg}$$

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z.B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z.B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die **Organdosis**. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

[27] ALARA-Prinzip: „**As** **l**ow **a**s **r**easonably **a**chievable“

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ **Energiedosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

$w_R$ Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ **Organdosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der StrlSchVvon 2001wie folgt festgelegt:

Tabelle A 2-1

**Strahlungs-Wichtungsfaktoren $w_R$ nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C**

| Strahlenart und Energiebereich | $w_R$ |
|---|---|
| Photonen, alle Energien | 1 |
| Elektronen, Myonen, alle Energien | 1 |
| Neutronen | |
| < 10 keV | 5 |
| 10 KeV bis 100 keV | 10 |
| > 100 keV bis 2 MeV | 20 |
| > 2 MeV bis 20 MeV | 10 |
| > 20 MeV | 5 |
| Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV | 5 |
| Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne | 20 |

Die Einheit der Organdosis ist das **Sievert** (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Da Strahlendosen im Sievertbereich selten auftreten, wird üblicherweise die Untereinheit **Millisievert** verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden unterschiedlich empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die **effektive Dosis** eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

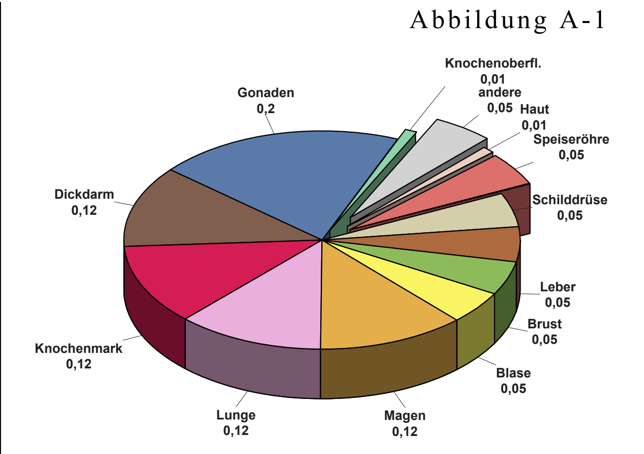
$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung A-1 dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert 1.

Da dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für

Abbildung A-1




*Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anlage VI, Teil C*

eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

**Die Messung der Dosis**

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als **Körperdosen** bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind **Schutzgrößen**. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den **Messgrößen** überwacht. Diese **Äquivalentdosen** sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g $cm^{-3}$, Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten **ICRU-Kugel** mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Die StrlSchV definiert als Messgrößen die **Personendosis** als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die **Tiefen-Personendosis** $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die **Oberflächen-Personendosis** $H_p(0,07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z.B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis

ist z.B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das **Filmdosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Ohne Vorhandensein einer Person wird die Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) und die Richtungs-Äquivalentdosis H´(0,07,Ω). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

**Äußere und innere Bestrahlung**[28]

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung bzw. dem Trinkwasser (Ingestion) oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in einzelnen Organen sowie Gewe-

[28] Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

ben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u.a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z.B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z.B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d.h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z.B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 $\mu m^2$ den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung (Gamma-, Röntgen- oder niederenergetische Betastrahlung) erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchen-

durchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Verminderung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14-MeV-Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z.B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

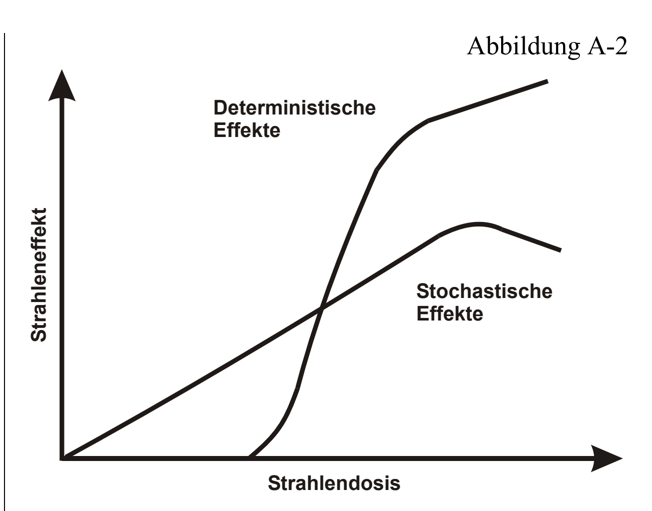
### Stochastische und deterministische Strahlenwirkung[28]

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die im Folgenden beschriebenen Effekte induziert werden können (Abbildung A-2). Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abbildung A-2). Bei niedrigen Dosen überwiegen die stochastischen Effekte, bei sehr hohen Dosen dagegen die deterministischen Effekte. Auf Grund des Absterbens von Zellen oder des ganzen Organismus kommen stochastische Effekte, wie z. B. die Krebsentstehung, immer weniger zum Tragen. Daher nimmt die Kurve der stochastischen Effekte gegen Ende wieder ab.

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d.h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im

Abbildung A-2




*Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte*

Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikokoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

### Genetische Strahlenwirkungen

Wirken ionisierende Strahlen auf Keimdrüsen oder Keimzellen, können sie Schäden im Erbgut (Mutationen) verursachen, die zu genetisch bedingten Krankheiten (Erbschäden) führen. Diese können sich bei den Kindern und Kindeskindern der bestrahlten Personen in Form von Fehlbildungen, Stoffwechselstörungen, Immunschäden etc. auswirken, aber auch erst nach vielen Generationen sichtbar werden. Wie Krebserkrankungen sind auch genetisch bedingte Krankheiten keine spezifischen Folgen einer Strahlenexposition, sondern treten mit dem gleichen klinischen Erscheinungsbild auch spontan oder infolge anderer Umwelteinflüsse auf.

Ein Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und dem Auftreten von genetischen Effekten konnte beim Menschen bisher nicht beobachtet werden. Das größte Kollektiv bestrahlter Eltern stellen die Atombomben-Überlebenden dar. Die Kinder dieser Eltern sind registriert und werden bis heute immer wieder auf genetische Effekte untersucht. Bisher wurde unter den Kindern und Kindeskindern der Atombomben-Überlebenden aber keine statistisch signifikante Erhöhung in der Häufigkeit von Erbkrankheiten gegenüber der unbestrahlten japanischen Bevölkerung beobachtet. Daher ist man bei Risikoab-

schätzungen darauf angewiesen, die Wirkungen relativ starker Bestrahlungen im Tierexperiment zu untersuchen und von diesen Ergebnissen auf die statistisch bisher nicht erfassbaren Wirkungen niedriger Strahlendosen beim Menschen zu schließen.

Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICRP) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, welche die Ursache für eine schwere Erkrankung ist.

Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdoppelungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. D. h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2% pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung liegt die Verdopplungsdosis bei 0,3 Gy. Von den röntgendiagnostischen Maßnahmen verursacht die Computer-Tomographie (CT) die höchste Strahlenexposition. Eine CT des Unterleibs bedingt etwa eine Keimdrüsendosis von 35 mSv (Ovarien) bis 40 mSv (Hoden). Dies erhöht das spontane genetische Risiko von etwa 2 bis 3% (für monogenetische und chromosomale Erkrankungen) um 0,07% bei der Frau und 0,08% beim Mann.

**Induktion bösartiger Neubildungen**

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d.h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nur in sehr geringem Maße nach Strahlenexpositionen vermehrt beobachtet worden.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d.h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte

kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro $m^3$ Raumluft. Dies bedeutet, dass sich das Lungenkrebsrisiko je 1000 Bq pro $m^3$ Raumluft verdoppelt. Dies gilt sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher.

**Risikoabschätzung**

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

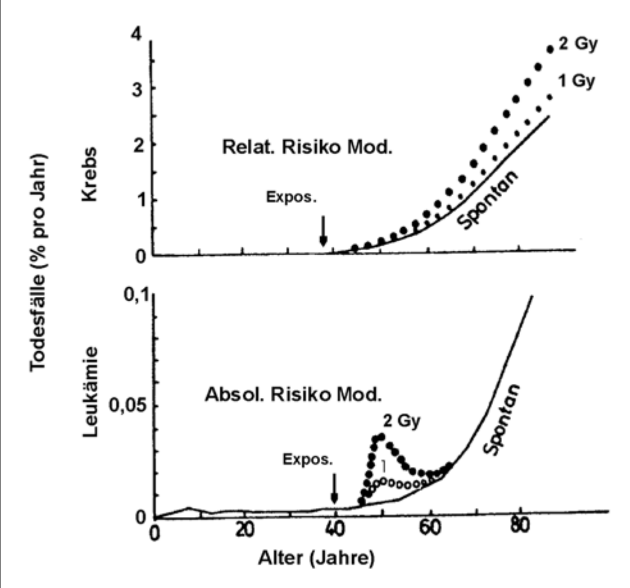
Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:.

- Extrapolation von beobachtbaren Risiken im mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z.B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen (wiederum etwa bei den Atombomben-Überlebenden) auf chronische Expositionen, wie sie z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
- Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen.
- Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z.B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur getroffen) zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird (z.B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird, daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden

Abbildung A-3




*Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie. Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane“ Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell“ und dem „Absoluten Risikomodell“ an.*

muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und -transfer zu Grunde gelegt werden können: das absolute und das relative Risikomodell (Abbildung A-3). Das absolute Risikomodell geht davon aus, dass die Strahlung eine bestimmte zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodell wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für die japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR[29] ein Lebenszeitrisiko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 4,9% bis 8,2% bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisiko deshalb um etwa 1 %, bei 10 mSv um 0,1 %. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25% aller Todesfälle Krebs als Ursache, d.h. von einer Million Menschen werden etwa 250000 an einer Krebserkrankung sterben.

[29] United Nations, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with 2 Scientific Annexes. Volume I, www.unscear.org/unscear/en/publications.html

## Anhang B:

**Nichtionisierende Strahlung – Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen**

### 1. Statische Felder

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst sowohl elektrische als auch magnetische Gleichfelder.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsumverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren eines solchen Gegenstands zu Ausgleichströmen im Körper. In Abhängigkeit von der Feldstärke und der Größe des Objekts im Einwirkungsbereich können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind vor allem elektrostatische Aufladungen für derartige Funkenentladungen verantwortlich und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Bisher konnten keine gesundheitlich relevanten Wirkungen statischer elektrischer Felder gefunden werden. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände (z.B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind) und andererseits auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z.B. Blutströmung) beschränkt. An der Aorta führt dieser Mechanismus z.B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1Tesla (T). Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition mit Magnetflussdichten von bis zu 200 Millitesla (mT) keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z.B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z.B. Straßenbahnen), Magnetschwebebahnen, Lautsprecheranlagen, Dauermagneten z.B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 μT) auf. Für den Menschen konnte ein derartiger Mechanismus bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie – MRT, englisch „nuclear magnetic resonance“ – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Untersuchungen bei Expositionen mit statischen Magnetfeldern bis 2 T konnten keine schädigenden Wirkungen belegen. Bei darüber hinaus gehenden Flussdichten im Bereich von 2 bis 4 T sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand ebenfalls keine schädlichen Wirkungen zu erwarten, jedoch besteht die Möglichkeit von Befindlichkeitsstörungen bei Bewegungen im Feld. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher[30]. Sie liegen für den Normalbetrieb der Geräte des magnetischen Resonanzverfahrens bei 2 T, für den kontrollierten Betrieb der Geräte bei 2 bis 4 T. Mehr als 4 T sind bei entsprechender Überwachung im Forschungsbetrieb möglich. Die Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung hat 2009 Richtlinien für Grenzwerte bei statischen Magnetfeldern herausgegeben[31].

### 2. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Niederfrequente Felder der Stromversorgung werden derzeit im Zusammenhang mit dem im Rahmen der Energiewende notwendigen Aus- und Umbau des Stromnetzes verstärkt diskutiert.

[30] SSK-Empfehlungen zur sicheren Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik. Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 36, Bonn, 2003

[31] ICNIRP, Guidelines on limits of exposure to staticmagnetic fields, www.icnirp.de/documents/statgddl.pdf

Tabelle B 2-1

| Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder | | | |
|---|---|---|---|
| Elektrische Feldstärke | **E** | **V/m** (Volt pro Meter) | |
| Magnetische Feldstärke | **H** | **A/m** (Ampere pro Meter) | |
| Magnetische Flussdichte | **B** | **Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla)<br>$1\ Vs/m^2 = 1\ T$<br>gebräuchlich: 1 μT - veraltet: G (Gauss) | $B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$<br>für Luft und organische Materialien:<br>B (μT) = 1,256 · H (A/m)<br>$1\ G = 10^{-4}\ T = 100\ \mu T$ |

Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können. In Tabelle B 2-1 sind die wichtigsten Messgrößen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder aufgeführt.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung - vorwiegend im häuslichen Bereich - (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^{2}/_{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetisches Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für ortsfeste Niederfrequenzanlagen geregelt (s. Tabelle B 2-2) .

Tabelle B 2-2

**Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen* (26. BImSchV)**

| Frequenzbereich | elektrische Feldstärke (kV/m) | magnetische Flussdichte (µT) |
|---|---|---|
| 16 2/3 Hz | 10 | 300 |
| 50 Hz | 5 | 100 |

* Am 22. August 2013 trat die novellierte 26. BImSchV in Kraft (BGBl. I S. 3266). Der Grenzwert für die elektrische Feldstärke bei 16 2/3 Hz wurde auf 5 kV/m gesenkt. Zudem wird der gesamte Frequenzbereich der niederfrequenten Felder geregelt. Grundlage ist die Begrenzung der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke entsprechend neuer internationaler Empfehlungen (ICNIRP, siehe Fußnote 20)

Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Grundlage ist die Begrenzung der induzierten Stromdichte im Körper. Nach einer wissenschaftlichen Bewertung der WHO treten ab etwa 10 mA/m$^2$ Wirkungen auf das Auge (Magnetophosphene) und möglicherweise geringfügige Einflüsse auf neuronale Zellverbände auf. Gesundheitliche Gefahren niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m$^2$ zu erwarten.

In der Öffentlichkeit wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen können. So wurde in epidemiologischen Studien eine zwar geringe, aber statistisch signifikante Risikoerhöhung für eine spezielle Form der Leukämie im Kindesalter (ALL, Akute Lymphatische Leukämie) bei einer über einen längeren Zeitraum andauernden, zeitlich gemittelten Magnetfeldexpositon von mehr als 0,3 - 0.4 µT beschrieben. Untersucht wurde vor allem die häusliche Magnetfeldexposition, zu der externe Quellen wie Hochspannungsleitungen einen unterschiedlich großen Beitrag leisten. Eine Ursache-Wirkungs-Beziehung ist durch den beobachteten statistischen Zusammenhang nicht nachgewiesen. Durch experimentelle Untersuchungen wie Tierstudien oder Zellkulturstudien werden die Ergebnisse der epidemiologischen Studien bisher nicht gestützt. Auf Grund dieser Datenlage hat die WHO niederfrequente Magnetfelder wie auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase als möglicherweise krebserregend (Klasse 2b) eingestuft (Klasse 1: krebserregend, Klasse 2a: wahrscheinlich krebserregend, Klasse 2 b: möglicherweise krebserregend, Klasse 3: nicht klassifizierbar, Klasse 4: wahrscheinlich nicht krebserregend).

Selbst wenn ein ursächlicher Zusammenhang gegeben wäre, könnten nach der in Deutschland durchgeführten Studie von Schüz et al. von 2001 zufolge nur etwa 1 % der Leukämiefälle im Kindesalter durch eine erhöhte Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern erklärt werden. Bei der Entstehung von Leukämien im Kindesalter wird derzeit von einer Kombination genetischer und umweltbedingter Faktoren ausgegangen, die zur Entstehung der Krankheit beitragen können. Hier ist weitere Forschung zur Aufklärung der Ursachen nötig.

Ebenfalls diskutiert werden mögliche Zusammenhänge mit neurodegenerativen Erkrankungen wie der Alzheimer-Krankheit. Es wurden einige epidemiologische Studien veröffentlicht, die auf ein erhöhtes Auftreten von bestimmten neurodegenerativen Erkrankungen bei einer relativ hohen, überwiegend beruflichen Exposition mit niederfrequenten magnetischen Feldern hindeuten. In mehreren, aber nicht in allen vorliegenden Arbeiten wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition und der Alzheimer-Krankheit sowie amyotropher Lateralsklerose (ALS, Erkrankung des motorischen Nervensystems, die zu einer fortschreitenden Schädigung der Nervenzellen führt, die für die Muskelbewegungen verantwortlich sind) festgestellt. Eine einzige epidemiologische Studie an der allgemeinen Bevölkerung aus der Schweiz, der sehr geringe Fallzahlen zu Grunde liegen, zeigte ein erhöhtes Risiko für die Alzheimer-Krankheit bei Personen, die in einer Entfernung von weniger als 50 m zu einer Hochspannungsleitung wohnen. Es ist nicht geklärt, ob es sich bei diesen statistischen Zusammenhängen um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den niederfrequenten Feldern und dem Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen handelt. Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien lassen sich bisher nicht durch Laboruntersuchungen bestätigen. Auch ist bislang kein biologischer Wirkmechanismus bekannt, der die Studienergebnisse erklären beziehungsweise wissenschaftlich untermauern könnte.

Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich auf Grund der vorhandenen wissenschaftlichen Unsicherheiten für Vorsorgemaßnahmen ein. Dazu gehören die Information der Bevölkerung und die Initiierung und Förderung weiterführender Forschung. Die beste Vorsorge ist es, die Be-

lastung durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder so gering wie möglich zu halten. Deshalb sollten z.B. neue Stromtrassen aus Sicht des Strahlenschutzes so geplant werden, dass sie möglichst nicht zu einer zusätzlichen Belastung führen. Ist das nicht möglich, sollte die Belastung so gering wie möglich gehalten werden.

### 3. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. Tabelle B 3-1) für gewerblich genutzte ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz, entspricht 300 000 MHz) festgelegt worden.

Tabelle B 3-1

**Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen***

| Frequenzbereich | elektrische Feldstärke (V/m) | magnetische Feldstärke (A/m) |
|---|---|---|
| 10 – 400 MHz | 27,5 | 0,073 |
| 400 MHz –2 GHz | $1{,}375\sqrt{f}$ † | $0{,}0037\sqrt{f}$ + |
| 2 – 300 GHz | 61 | 0,16 |

* Die am 22. August 2013 in Kraft getretene novellierte 26. BImSchV (BGBl. I S. 3266) regelt zusätzlich den Frequenzbereich von 9 Kilohertz bis 10 Megahertz. Zudem wurde der Geltungsbereich um private und für hoheitliche Zwecke bestimmte Anlagen erweitert.

† f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken genutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Systems benötigt. Derzeit werden bei der Diagnosemethode MRT in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. In der nachfolgenden Tabelle B 3-2 sind die wichtigsten Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder aufgeführt.

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als ein Grad konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Bei Einhaltung dieser Grenzwerte sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

Tabelle B 3-2

**Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Elektrische Feldstärke<br>Magnetische Feldstärke | **E**<br>**H** | **V/m** (Volt pro Meter)<br>**A/m** (Ampere pro Meter) | $E = Z_0 \cdot H$<br>Dabei ist $Z_0$ der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A |
| Leistungsflussdichte | **S** | **W/m²** (Watt pro Quadratmeter) | $S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$<br>(gilt im Fernfeld) |
| Spezifische Absorptionsrate | **SAR** | **W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe | |

Die elektromagnetischen Felder, die beim Telefonieren mit Handys auftreten, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, denen man z.B. durch benachbarte Mobilfunkbasisstationen ausgesetzt ist. Daher hält es das BfS für besonders wichtig, die Felder, denen die Nutzer von Handys ausgesetzt sind, so gering wie möglich zu halten und empfiehlt:

- In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.
- Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden.
- Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z.B. aus Autos ohne Außenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte

der Verbindung zur nächsten Basisstation.

– Verwendung von Handys, bei denen der Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate).
– Die Nutzung von Head-Sets: Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab. Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert.
– Beim Verbindungsaufbau sendet ein Handy im GSM-Standard mit erhöhter Leistung. Dies hat einen kurzfristig erhöhten Eintrag von Energie in den Kopf zur Folge. Dieser Energieeintrag kann vermieden werden, indem Telefonate nicht mit dem Handy am Ohr entgegengenommen werden bzw. das Handy erst nach Verbindungsaufbau ans Ohr geführt wird.

Ganz besonders gelten diese Empfehlungen für Kinder, da diese sich noch in der Entwicklung befinden und deshalb gesundheitlich empfindlicher reagieren könnten. Mit den oben aufgeführten Empfehlungen lässt sich die persönliche Strahlenbelastung einfach und effizient minimieren, ohne auf die Vorteile eines Handys verzichten zu müssen.

### 4. Optische Strahlung

Zum Bereich der optischen Strahlung gehören neben dem sichtaren Licht die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung sowie die Infrarot(IR)-Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf. Die IR-Strahlung wird unterteilt in die kurzwellige IR-A-Strahlung mit einem Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm, die IR-B-Strahlung (1400 bis 3000 nm) und den langwelligen Teilbereich, die IR-C-Strahlung, (3000 nm bis 1 mm).

#### Wirkungen von UV-Strahlung auf die Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Bei Verringerung des Gesamtozongehaltes und dadurch bedingter Erhöhung der UV-Strahlung ist mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich ein im Wasser lebender Organismus durch seine Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützenkönnen, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Fragen nach den möglichen pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und gesundheitlich sowie ökologisch bewertet werden muss.

#### Wirkungen von UV-Strahlung auf den Menschen

UV-Strahlung wirkt auf den gesamten Körper ein. Neben dem Aspekt der körpereigenen Vitamin-$D_3$-Synthese induziert durch UV-B-Strahlung, verursacht UV-Strahlung akute sowie chronische Wirkungen an Augen und Haut.

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat die natürliche wie künstlich erzeugte UV-Strahlung (UV-Strahlung der Wellenlänge 100 bis 400 Nanometer (nm)) als für den Menschen krebserregend eingestuft. Die regelmäßige Nutzung eines Solariums vor dem 30. Lebensjahr verdoppelt das Risiko, am schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom) zu erkranken.

Eine den ganzen Körper betreffende Wirkung ist die Schwächung des Immunsystems. Dadurch wird dessen Fähigkeit gemindert, sich gegen Infektionen oder auch gegen Krebserkrankungen zu wehren.

Auf bereits erfolgte Schädigungen reagiert unsere Haut mit Schutzmechanismen. Unter dem Einfluss von UV-A- und UV-B-Strahlung lagert sich Pigment (Melanin) in die Hautzellen ein zum Schutz vor allem der im Zellkern enthaltenen Erbinformationen (Bräunung) und es bildet sich eine so genannte Lichtschwiele (Verdickung der Hornhaut).

#### Akute Wirkungen

Bei übermäßiger UV-Bestrahlung können akute Wirkungen an Augen und Haut hervorgerufen werden. Akute Wirkungen des kurzwelligen UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges.

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythematogene Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m$^2$ für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Tabelle B 4-1

**Medikamente und chemische Stoffe, die Lichtempfindlichkeit auslösen können**

| Substanz | Anwendungsform |
|---|---|
| Antiseptika | Seifen |
| Blankophore | Waschmittel |
| Chloroquin | Antimalariamittel / Antirheumatika |
| Chlorothiazide | Diuretika (harntreibende Mittel) |
| Sulfonamide | Antibiotika / Chemotherapeutika |
| Tetracyclin | Antibiotika |
| Triacetyldiphenylisatin | Abführmittel |

Der langwellige solare UV-Anteil (UV-A) initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z.B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt Tabelle B 4-1.

Fototoxische Reaktionen können klinisch gewöhnlich als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter entsprechenden Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

**Chronische Wirkungen**

Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der Hautkrebs. Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Tabelle B 4-2

**Die sechs Hauttypen*)**

| | |
|---|---|
| Hauttyp I | sehr helle Haut, Sommersprossen, extrem empfindliche Haut, helle Augen, rotblondes Haar, keine Bräunung, meistens Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 10 Minuten |
| Hauttyp II | helle Haut, oft Sommersprossen, empfindliche Haut, helle Augen, helles Haar, langsame Bräunung, oft Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 20 Minuten |
| Hauttyp III | mittelhelle Haut, helle oder dunkle Augen, braunes Haar, einfache und langsame Bräunung, manchmal Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 30 Minuten. |
| Hauttyp IV | bräunliche, wenig, empfindliche Haut, dunkle Augen, dunkelbraunes oder schwarzes Haar, schnelle und tiefe Bräunung, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 45 Minuten |
| Hauttyp V | dunkle, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 60 Minuten |
| Hauttyp VI | schwarze, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, sehr selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 90 Minuten |

*) www.who.int/uv/faq/skincancer/en/index2.html

Die weitaus schwerwiegendste Folge von übermäßiger UV-Exposition und Sonnenbränden ist die Bildung von Hautkrebserkrankungen. Siehaben in der hellhäutigen Bevölkerung weltweit stärkere Zuwachsraten als alle anderen Krebserkrankungen. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird die übermäßige UV-Belastung bei zunehmenden, unvorbereiteten Aufenthalten im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell die Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II (Tabelle B 4-2) sowie eine familiäre Vorbelastung für Hautkrebs. In Deutschland erkrankt etwa jeder Achte (jeder siebte Mann und jede neunte Frau) bis zum Alter von 75 Jahren an Hautkrebs (helle Hautkrebsarten und schwarzer Hautkrebs) – Tendenz steigend: alleine in Deutschland verdoppelt sich die Neuerkrankungsrate (Inzidenz) alle 10 bis 15 Jahre. Für den „schwarzen Hautkrebs“ (malignes Melanom) nimmt die Inzidenz stärker zu als für alle anderen Krebsarten – und immer mehr jüngere Menschen, vor allem Frauen, erkranken daran. Am malignen Melanom versterben pro Jahr in Deutschland über 2.500 Menschen.

Über 90 % der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzinomen (werden auch unter dem Begriff „heller Hautkrebs“ zusammengefasst) konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarmen auf. Als Risikofaktoren für den hellen Hautkrebs kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Hautkrebsneuerkrankungsrate (Inzidenz) bei jungen Frauen (hier häufigste Tumorart). Als Risikofaktoren für das maligne Melanom kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend, eine hohe Anzahl (über 40 - 50) Pigmentmale (Muttermale) und die Nutzung von Solarien vor dem 30. Lebensjahr hinzu. Wissenschaftler fanden heraus, dass das Risiko, am malignen Melanom zu erkranken, um das Doppelte ansteigt, wenn bereits vor dem 30. Lebensjahr regelmäßig ein Solarium (mehr als einmal im Monat) besucht wird.

**UV-Monitoring**

Der globale solare UV-Index ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen.

Im Jahr 1993 haben das Bundesamt für Strahlenschutz und das Umweltbundesamt den Betrieb an den 4 Stationen des UV-Messnetzes in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde das Messnetz zusammen mit dem DWD und weiteren assoziierten Institutionen zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Bayerische Landesamt für Umweltschutz mit der Messstation in Kulmbach und die Niedersächsische Gewerbeaufsicht mit den Messstationen in Rinteln und auf der Insel Norderney.

Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV–Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d.h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z.B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV bis Infrarot) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung in den Sommermonaten ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit als UV-Index zur Verfügung: www.bfs.de/de/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/messnetz.html

Die kompletten Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner gespeichert.

Von April bis September werden darüber hinaus für die 10 Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht: www.bfs.de/de/www/uv/uv2/uv_messnetz/uvi/prognose.html

An unbewölkten Tagen ist die UV-Belastung zur Mittagszeit am höchsten. In Deutschland ist der UVI im Winter am kleinsten (<1) und erreicht im Sommer im süddeutschen Raum Werte von 8 bis 9.

Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab. Er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamtozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet sechs Hauttypen, die in Tabelle B 4-2 aufgeführt sind.

Menschen mit empfindlichem Hauttyp I erreichen bei hohem UVI die Sonnenbrandschwelle etwa in der halben Zeit wie Personen mit Hauttyp II. Bei Hauttyp III und IV kann von rund der doppelten Zeit bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle ausgegangen werden, wenn die Haut nicht vorgebräunt ist.

In Tabelle B 4-3 sind die UVI- Schutzschemata aufgeführt, die von der WHO, dem WMO und der ICNIRP veröffentlicht worden sind. Die Schutzhinweise gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

### Solarien

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z.B. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten, wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke $E_{er}$ auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei der Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Dabei spielt der Hauttyp eine entscheidende Rolle.

Auf Grundlage des Gesetzes zur "Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung" ist seit 2009 Minderjährigen die Nutzung von Solarien nicht gestatten dürfen. In einer auf diesem Gesetz aufbauenden Rechtsverordnung, der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher UV-Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung - UVSV), werden darüber hinaus der Solarienbetrieb und der Umgang mit den Solariennutzern (Beratung durch Fachpersonal, Informationspflichten, etc.) gesetzlich geregelt.

### Infrarotstrahlung

Natürliche IR-Strahlungsquellen sind die Sonne und das Feuer. Der infrarote Anteil der den Erdboden erreichenden Sonnenstrahlung beträgt knapp 50%. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-Strahlung ab. Die meisten künstlichen IR-Strahlungsquellen sind thermische Strahler, die 1000°C und mehr erreichen können. Industriell werden Infrarotöfen z.B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisierung verwendet. Die üblichen Bestrahlungsstärken liegen dabei im Bereich von 1-8 kW/m$^2$. In der Medizin aber auch im Wellnessbereich, werden zur Wärmebehandlung des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen z.B. in Infrarot-Wärmekabinen eingesetzt. Die Glühwendeltemperaturen dieser Lampen liegen bei ca. 2000°C, die Bestrahlungsstärken liegen im Bereich von 100-300 W/m$^2$.

Tabelle B 4-3

**Empfohlenes UVI-Schutzschema der WHO/WMO/ICNIRP mit Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)**

| UVI | Klassifikation | Zeit zum Erreichen eines Erythems | Schutz | Schutzmaßnahmen |
|---|---|---|---|---|
| >10 | extrem | | extra Schutz | Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 10 | sehr hoch | | extra Schutz | Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 9 | sehr hoch | < 20 min. | extra Schutz | Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 8 | sehr hoch | < 20 min. | extra Schutz | Mittags im Innenraum, unbedingt Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 7 | hoch | ab 20 min | erforderlich | Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 6 | hoch | ab 20 min | erforderlich | Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 5 | moderat | ab 20 min | erforderlich | Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 4 | moderat | ab 30 min | erforderlich | Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 3 | moderat | ab 30 min | erforderlich | Mittags Schatten, Bekleidung, Sonnenbrille, Hut und Sonnenlotion |
| 0–2 | niedrig | ab 30 min | nicht erforderlich | |

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Bei höheren Intensitäten ist sie jedoch mit gesundheitlichen Gefahren (z.B. Augenschäden und Verbrennungen) verbunden, vor denen man sich schützen muss. In begrenztem Umfang stellen die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren natürliche Schutzmechanismen dar.

IR-Strahlung wird überwiegend an der Körperoberfläche absorbiert. Von der IR-Strahlung sind somit zunächst Auge und Haut betroffen. Durch Wärmeleitung kann aber auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperorgane erfolgen.

**Wirkung der Infrarotstrahlung auf das Auge**

Der vordere Teil des Auges ist besonders für den kurzwelligen IR-Anteil (IR-A) durchlässig. Es können unmittelbar Netzhautschädigungen erfolgen. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z.B. „Glasbläserstar“). Eine Bestrahlung der Haut kann bei ausreichend hohen Bestrahlungsstärken bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen. Bei niedrigeren Bestrahlungsstärken schützen davor im Allgemeinen die natürlichen Abwehr- und Schmerzreaktionen.

**Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Gesamtorganismus**

Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Hohe thermische Belastungen z.B. durch IR-Bestrahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40°C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangeldurchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41°C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

## Anhang C:

### Verwendete Abkürzungen

| | |
|---|---|
| **ÄS** | Ärztliche und zahnärztliche Stellen |
| **AVR** | Atomversuchsreaktor (Jülich) |
| **BDBOS** | Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| **BEMFV** | Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl 1, Seite 1970) |
| **BfArM** | Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte |
| **BfS** | Bundesamt für Strahlenschutz |
| **BGBl** | Bundesgesetzblatt |
| **BMBF** | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| **BMG** | Bundesministerium für Gesundheit |
| **BMU** | Bundesministerium für Umwelt, Naturschuz und Reaktorsicherheit |
| **BMVBS** | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung |
| **BMWi** | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie |
| **BNetzA** | Bundesnetzagentur |
| **BOS** | Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| **Bq** | Becquerel |
| **$Bq/m^3$** | Becquerel pro Kubikmeter |
| **DMF** | Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm |
| **DNS** | Desoxyribonukleinsäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen |
| **DRW** | Diagnostische Referenzwerte |
| **DWD** | Deutscher Wetterdienst |
| **EMF** | Elektromagnetische Felder |
| **EURATOM** | Europäische Atomgemeinschaft |
| **EUREF** | European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services |
| **FM** | Feuchtmasse |
| **GKV** | Gesetzliche Krankenversicherung |
| **Gy** | Gray SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm |
| **GSM** | Globales Mobilfunksystem |
| **HF** | Abkürzung für die Ausdrücke „Hochfrequenz“, „hochfrequente“ |
| **Hz** | Hertz |
| **IAEA (IAEO)** | International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergie-Organisation IAEO) |

**Verwendete Abkürzungen**

| | |
|---|---|
| **IARC** | International Agency for Research on Cancer<br>(Internationale Agentur für Krebsforschung) |
| **ICNIRP** | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection<br>(Internationale Komission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung) |
| **ICRP** | International Commission on Radiological Protection<br>(Internationale Strahlenschutzkommission) |
| **IMIS** | Integriertes Mess- und Informationssystem |
| **IR** | Infrarote Strahlung |
| **KBV** | Kassenärztliche Bundesvereinigung |
| **KMU** | Kleine und mittlere Unternehmen |
| **LET** | Linearer Datentransfer |
| **LTE** | Long Term Evolution<br>LTE ist der Nachfolger von UMTS. Die Technik hat in Tests bereits 170 MBit/s im Downstream und 50 MBit/s im Upstream erreicht. |
| **MED** | Minimale erythematogene Dosis<br>Erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) |
| **mSv** | Millisievert |
| **MRT** | Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie) |
| **NIR** | Englisch „non ionizing radiation“ – Nicht ionisierende Strahlung |
| **NiSG** | Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung |
| **nSv** | Nanosievert |
| **ODL** | Ortsdosisleistung |
| **PAS** | Public Available Specification |
| **Personen-Sv** | Personen-Sievert, siehe Kollektivdosis (Erläuterungen Fachausdrücke) |
| **PET** | Positronen-Emissions-Tomographie |
| **PKV** | Verband der privaten Krankenversicherung |
| **REI** | Richtline zur Emissions- und Immissionüberwachung kerntechnischer Anlagen<br>(Gemeinsames Ministerialblatt vom 23. März 2006, Nr. 14-17, S. 253) |
| **RöV** | Röntgenverordnung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604) |
| **RSK** | Reaktorsicherheitskommission |
| **RTS** | Runder Tisch Solarien |
| **SAR** | Spezifische Absorptionsrate |
| **SSK** | Strahlenschutzkommission |
| **StrlSchV** | Strahlenschutzverordnung |
| **StrVG** | Strahlenschutzvorsorgegesetz |
| **Sv** | Sievert |
| **TBL** | Transportbehälterlager |

**Verwendete Abkürzungen**

| | |
|---|---|
| **TM** | Trockenmasse |
| **UBA** | Umweltbundesamt |
| **UFOPLAN** | Umweltforschungsplan des BMU zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung der Fachaufgaben |
| **UMTS** | Universal Mobile Telecommunications System<br>Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G) |
| **UNSCEAR** | United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung) |
| **UV** | Ultraviolette Strahlung |
| **UVI, UV-Index** | Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung<br>Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung |
| **UVSV** | UV-Schutzverordnung |
| **WBA** | Wasserbehandlungsanlage |
| **WMO** | World Meteorological Organization (Welt-Organisation Metereologie) |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Absorption** | Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z.B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis |
| **Aerosol** | Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen |
| **Aktivität (Radioaktivität)** | Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Zerfälle eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i.A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu |
| **AKR-Mäuse** | Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen. Es handelt sich um ein anerkanntes Tiermodell für menschliche Leukämien, das in der Krebsforschung eingesetzt wird |
| **Alphastrahler** | Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden |
| **Angiographie** | Darstellung der Blutgefäße |
| **Äquivalentdosis** | Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, Bethesda, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge.<br>Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert. |
| **Athermische Effekte (auch nicht-thermische Effekte)** | Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten |
| **Becquerel** | SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt.1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie |
| **Betastrahlung** | Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen oder Positronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betaspektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie) |
| **Betasubmersion** | Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre |
| **Biologische Effekte** | Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen) |
| **Blut-Hirn-Schranke** | Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet |
| **BOS-Netz** | Mobilfunknetz der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| **Brachytherapie** | Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen (s.a. Teletherapie) |
| **Computertomographie (CT)** | Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild |
| **Dekontamination** | Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Deterministisch** | Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z.B. Hautrötung, Augenlinsentrübung) |
| **Diagnostischer Referenzwert** | In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen |
| **Diuretika** | Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken |
| **Dosimetrie** | Quantitative Erfassung der Exposition durch Dosimeter |
| **Dosimeter** | Im Bereich ionisierender Strahlng sind dies Messgeräte zur Messung der Strahlendosis - als Energiedosis oder Äquivalentdosis.<br>Im Bereich nichtionisierender Strahlung existieren Personendosimeter zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder |
| **Dosis** | Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis |
| **Dosisfaktor** | Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt. Beispielsweise kann durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids der Wert der jeweils betrachteten Dosis errechnet werden. Der Dosisfaktor wird auch als Dosiskoeffizient bezeichnet. |
| **Effektive Dosis** | Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor |
| **Elektrische Feldstärke** | Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m) |
| **Elektrische Ladung** | Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist das Coulomb (C) |
| **Elektrisches Feld** | Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert |
| **Elektrische Spannung** | Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V) |
| **Elektrischer Strom** | Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A) |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Elektrosensibilität** | Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.<br>Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden |
| **Elektrosensitivität** | Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung |
| **Elektrostatisches Feld** | Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen |
| **Energiedosis** | Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy), 1 Gy entspricht 1 J/kg |
| **Epidemiologie** | Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten. |
| **Exposimeter** | Von Personen während der Arbeit am Körper getragenes Messgerät zur Ermittlung der Radon-222-Exposition |
| **Fall-Kontroll-Studie** | Ein Studiendesign, das in der Epidemiologie entstanden ist. Fall-Kontroll-Studien dienen dem retrospektiven Nachweis von pathogenen Faktoren für gesundheitliche Störungen.<br>In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen).<br><br>**Eingebettete Fall-Kontroll-Studie:**<br>Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) zufällig ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird |
| **Fall-out** | Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Schwebstoffen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist |
| **Fernfeld** | Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle) |
| **Frequenz** | Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz) |
| **Gammastrahlung** | Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann. Sie ist von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen |
| **Gamma-0rtsdosisleistung** | Gammakomponente der Ortsdosisleistung |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Gammasubmersion** | Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Schwebstoffen und Gasen in der Atmosphäre |
| **Globalstrahlung** | Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung |
| **Gray** | siehe Energiedosis. Der Zusammenhang der verschiedenen Dosisgrößen ist ausführlich in Anhang A erläutert. |
| **Hochfrequenz** | Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nicht ionisierende Strahlung) |
| **Hot spots** | Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder |
| **Induktion** | Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird |
| **Influenz** | Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an der Oberfläche dieses Körpers lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten |
| **Infrarot-Strahlung** | Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780nm - 1mm |
| **Ingestion** | Allgemein: Nahrungsaufnahme<br>Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung |
| **Inhalation** | Allgemein: Einatmung<br>Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft |
| **Inkorporation** | Allgemein: Aufnahme in den Körper<br>Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper |
| **Interventionelle Radiologie** | Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden |
| **Ionisierende Strahlung** | Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung) |
| **Isotop** | Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleiche Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl |
| **Kohortenstudie** | Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht |
| **Kollektivdosis** | Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert |
| **Kontamination** | Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen<br>a) Oberflächenkontamination:<br>Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter.<br>b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende:<br>Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann |
| **Kosmische Strahlung** | Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Kosmogene Radionuklide** | In der Erdatmosphäre durch kosmische Strahlung erzeugte Radionuklide |
| **Linearer Energietransfer (LET)** | Der Lineare Ernergietransfer ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen |
| **Leukämie** | Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 – 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit |
| **Machbarkeitsstudie** | In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann |
| **Magnetfeld** | Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert |
| **Magnetische Feldstärke** | Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m) |
| **Magnetische Flussdichte** | Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden |
| **Magnetische Induktion** | Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist das Tesla (T). $1\ T = 1\ Vs/m^2$ (Voltsekunde pro Quadratmeter) |
| **Magnetresonanztomographie** (Kernspintomographie) | Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden. |
| **Medianwert** | Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen |
| **Myokardszintigraphie (MSZ)** | Nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren, das je nach Durchführung Informationen über die Durchblutungsverhältnisse, Vitalität und Funktion des Herzmuskels liefert. |
| **Nachweisgrenze** | Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten zurzeit verfügbaren Nachweismethoden gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann, also in einem vorgegebenen statistischen Konfidenzintervall liegt. |
| **Nahfeldexposition** | Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle) |
| **Nicht ionisierende Strahlung** | Elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können |
| **Nichtionisierendes Strahlenschutzgesetz (NiSG)** | Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) |
| **Nuklearmedizin** | Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken |
| **Nuklid** | Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **Organdosis** | Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition |
| **Ortsdosis** | Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV angegebenen Messgrößen |
| **Ortsdosisleistung** | Ortsdosis pro Zeitintervall |
| **Personendosis** | Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm |
| **Personendosimeter (nicht ionisierende Strahlung)** | Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person |
| **Perzentil** | Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z.B. 95. Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird) |
| **Positronen-Emissions-Tomographie (PET)** | Nuklearmedizinisches Schnittbildverfahren, mit dessen Hilfe physiologische Funktionen und Stoffwechselprozesse sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Es beruht auf der Markierung von Biomolekülen mit kurzlebigen Radionukliden (Radiotracer), bei deren Zerfall Positronen entstehen. Die emittierte Strahlung wird mittels eines Detektorrings, der den Patienten umgibt, registriert und in Bilder umgesetzt, die die Verteilung des Radiotracers im Körper darstellen. |
| **Pyranometer** | Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung |
| **Querschnittsstudie** | Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben |
| **Radioaktive Stoffe** | Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden |
| **Radioaktivität** | Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden |
| **Radiojod** | Radioaktive Jodisotope |
| **Radionuklide** | Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen |
| **Risiko** | Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung |
| **Risikokommunikation** | Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.) |
| **Risikowahrnehmung** | Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen |
| **Schwebstoffe** | Feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft (Durchmesser: $10^{-3}$ bis $10^{-8}$ cm). Der überwiegende Teil der natürlichen und künstlichen Radionuklide der Luft ist an Schwebstoffe gebunden |
| **Sendeleistung** | Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung |

**Erläuterung wichtiger Fachausdrücke**

| | |
|---|---|
| **SI-Einheiten** | Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt |
| **Sievert (Sv)** | SI-Einheit der Organdosis, der effektiven Dosis sowie der Äquivalentdosis<br>1 Sievert (Sv) = 100 Rem<br>1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv) = 1 000 000 000 Nanosievert (nSv)<br>Die Einheit Sv entspricht J/kg. Der Zusammenhang ist in Anhang A erläutert. |
| **Signaltransduktion** | In der Biochemie und Physiologie werden damit Prozesse bezeichnet, mittels derer Zellen zum Beispiel auf äußere Reize reagieren, diese umwandeln und in das Zellinnere weiterleiten. An diesen Prozessen sind oft eine Vielzahl von Enzymen und sekundären Botenstoffen in einer oder mehreren nachgeschalteten Ebenen beteiligt (Signalkaskade). |
| **Spezifische Absorptionsrate (SAR)** | Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg) |
| **Stochastisch** | Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere |
| **Strahlenbelastung** | Siehe Strahlenexposition |
| **Strahlenexposition** | Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nicht ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ionisierender Strahlung ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers |
| **Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)** | Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793) |
| **Strahlenschutzvorsorgegesetz( StrVG)** | Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 1 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686) |
| **Teletherapie** | Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s.a. Brachytherayie) |
| **Terrestrische Strahlung** | Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind |
| **Tritium** | Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet |
| **UV-Schutzverordnung (UVSV)** | UV-Schutz-Verordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412) |
| **UV-Strahlung** | UV-Strahlung gliedert sich in den **UV-A**- (320–400 nm), **UV-B**- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf (siehe auch Anhang B) |
| **Wirbelstrom** | Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom |

**Anhang D:**

**Stichwortverzeichnis**

**(fette Seitenzahlen beziehen sich auf das Glossar in Anhang C)**

## L



## M



## N



## O



## P



## Q



## R

## S



## T



## U

Gesamtherstellung: H. Heenemann GmbH & Co., Buch- und Offsetdruckerei, Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin, www.heenemann-druck.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.betrifft-gesetze.de
ISSN 0722-8333